

SVEUČILIŠTE U ZAGREBU  
RUDARSKO-GEOLOŠKO-NAFTNI FAKULTET

Diplomski studij rudarstva

**PROSTORNA DISTRIBUCIJA I VIZUALIZACIJA KONCENTRACIJE RADONA**

Diplomski rad

Petra Gavran

R – 139

Zagreb, 2017.

## **PROSTORNA DISTRIBUCIJA I VIZUALIZACIJA KONCENTRACIJE RADONA**

PETRA GAVRAN

Diplomski izrađen: Sveučilište u Zagrebu  
Rudarsko-geološko-naftni fakultet  
Zavod za rudarstvo i geotehniku  
Pierottijeva 6, 10000 Zagreb

### **Sažetak**

Tema ovog diplomskog rada bila je izrada karte radona na području Republike Hrvatske. Sam rad je koncipiran u tri faze. Prva faza je upoznavanje s geoinformacijskim sustavom odnosno GIS tehnologijom, i konkretno, s korištenim softverom za izradu karata. Druga faza rada je prikaz osnovnih podataka o radonu i osnovne činjenice o djelovanju radona na ljudsko zdravlje. Treća i završna faza je izrada karte radona.

Izrada karte radona je također obavljena u nekoliko faza: unos podataka u GIS sustav, tematsko modeliranje, prostorno povezivanje, prostorna analiza, interpolacija prostornih podataka te izrada konturnih karata. Svi postupci detaljno su opisani u radu.

Ključne riječi: radon, GIS, karta

Diplomski rad sadrži: 53 stranice, 32 slike, 4 tablice, 26 referenci

Jezik izvornika: Hrvatski  
Diplomski rad  
pohranjen: Knjižnica Rudarsko-geološko-naftnog fakulteta  
Pierottijeva 6, 10000 Zagreb

Voditelj: Dr. Sc. Dario Perković, docent  
Ocjenjivači: Dr. Sc. Dario Perković, docent  
Dr. Sc. Želimir Veinović, docent  
Dr. Sc. Željko Andreić, redoviti profesor

Datum obrane: 15.09.2017.

## SPATIAL DISTRIBUTION AND VISUALISATION OF RADON CONCENTRATION

PETRA GAVRAN

Thesis completed at: University of Zagreb  
Faculty of Mining, Geology and Petroleum Engineering  
Department of Mining Engineering and Geotechnics  
Pierottijeva 6, 10000 Zagreb

### Abstract

Masters thesis topic was building a radon map on RH territory, and is conceived in three stages. First stage is get to known with geoinformation system (GIS), which was also used for creating map. Second stage is to display basic information about radon and learn how it effect on human health. The third stage, also the finishing stage, is the main topic of this masters thesis and radon map creating.

Building a map of radon zones is conducted in several stages: data entry in (GIS), thematic modeling, spatial connectivity and analysis, interpolation spatial data and creating contour maps. All stages are explained in further text.

Keywords: radon, GIS, map

Thesis contains: 53 pages, 32 figures, 4 tables, 26 references

Original in: Croatian

Thesis deposited at: Library of Faculty of Mining, Geology and Petroleum Engineering  
Pierottijeva 6, 10000 Zagreb

Supervisor: Ph. D. Dario Perković, Assistant Professor

Reviewers: Ph. D. Dario Perković, Assistant Professor  
Ph. D. Želimir Veinović, Assistant Professor  
Ph. D. Željko Andreić, Full Professor

Defending date: 15.09.2017.

## *Zahvale*

*Veliku zahvalnost, u prvom redu, dugujem svom mentoru doc.dr.sc. Dariu Perkoviću koji mi je omogućio svu potrebnu opremu i pomagao svojim savjetima pri izradi ovog diplomskog rada te što je uvijek imao vremena i strpljenja za sve moje upite i loše trenutke.*

*Također, zahvaljujem se Odjelu za fiziku Sveučilišta Josipa Jurja Strossmayera u Osijeku koji nam je ustupio prikupljene podatke na temelju kojih je i izrađen ovaj diplomski rad.*

*I na kraju, zahvaljujem se svojoj obitelji i prijateljima uz koje sam provela jednu eru svoga života i jednom nogom zakoračila u život odraslih.*

# SADRŽAJ

POPIS SLIKA .....	I
POPIS TABLICA .....	III
1. UVOD.....	1
2. GEOINFORMACIJSKI SUSTAV – GIS.....	3
2.1. Prednosti GIS sustava .....	3
2.2. Primjena GIS tehnologije.....	4
3. RADON .....	5
4. DOSADAŠNJA ISTRAŽIVANJA NA RAZVOJU RADONSKIH ZEMLJOVIDA....	11
4.1. Radonski zemljovid u Europi .....	11
4.2. Raspoloživi ulazni podaci .....	14
4.3. Radonski zemljovid u RH.....	15
5. FAZE RAZVOJA GIS PROJEKTA.....	18
5.1. Ulaz podataka u GIS .....	18
5.2. Tematsko modeliranje.....	22
5.3. Prostorno povezivanje.....	24
5.4. Prostorna analiza .....	25
5.5. Interpolacija prostornih podataka .....	31
5.6. Izrada konturnih karata .....	32
6. ZAKLJUČAK.....	50
7. LITERATURA .....	51

## POPIS SLIKA

Slika 3-1. Kako radon ulazi u kuću? .....	9
(Izvor: <a href="http://sante.gouv.qc.ca/en/conseils-et-prevention/radon-domiciliaire/">http://sante.gouv.qc.ca/en/conseils-et-prevention/radon-domiciliaire/</a> ).....	9
Slika 4-1. Prikaz gustoće mjerenja po ćeliji mreže.....	13
(Izvor: <a href="https://academic.oup.com/rpd/article-lookup/doi/10.1093/rpd/ncu244">https://academic.oup.com/rpd/article-lookup/doi/10.1093/rpd/ncu244</a> ).....	13
Slika 4-2. Prikaz županija za koje je izrađena karta .....	15
(Izvor: <a href="http://radon.dzrns.hr/o-radonu/">http://radon.dzrns.hr/o-radonu/</a> ) .....	15
Slika 4-3. Primjer karte dostupne na Internet stranicama Državnog zavoda za radiološku i .....	16
(Izvor: <a href="http://radon.dzrns.hr/radonski-zemljovid/kuce/baranja/">http://radon.dzrns.hr/radonski-zemljovid/kuce/baranja/</a> ).....	16
Slika 4-4. Prikaz postavljenih detektora u RH.....	17
Slika 5-1. Pokretanje naredbe Display XY Data .....	18
Slika 5-2. Prikaz naredbe Display XY Data .....	19
Slika 5-3. Naredba Add Data .....	20
Slika 5-4. Prikaz dijaloškog okvira Add Data .....	20
Slika 5-5. Slikoviti prikaz postupka izvođenja Export Data te istog dijaloškog okvira .....	21
Slika 5-6. Prikaz podjele vrste zemljišnog pokrova.....	23
(Izvor: <a href="file:///C:/Users/petra/Downloads/CLC_legenda.pdf">file:///C:/Users/petra/Downloads/CLC_legenda.pdf</a> ) .....	23
Slika 5-7. Prikaz opcije Joins and Relates .....	24
Slika 5-8. Dijaloški okvir Join Data.....	25
Slika 5-9. Statistički prikaz mjerenja radona u RH.....	26
Slika 5-10. Prikaz izmjerenih vrijednosti koje su iznad 300 Bq/m <sup>3</sup> .....	27
Slika 5-11. Prikaz naselja s izmjerenom vrijednošću većom od 300 Bq/m <sup>3</sup> .....	28
Slika 5-12. Prikaz naselja sa izmjerenom vrijednošću većom od 200 Bq/m <sup>3</sup> .....	29
Slika 5-13. Prikaz naselja sa izmjerenom vrijednošću većom od 400 Bq/m <sup>3</sup> .....	30
Slika 5-14. Dijaloški okvir ArcToolbox .....	33
Slika 5-15. Dijaloški okvir IDW interpolacija.....	34
Slika 5-16. Karta zona koncentracije radona RH.....	35
Slika 5-17. Dijaloški okvir Clip.....	36
Slika 5-18. Karta zona koncentracije radona RH nakon naredbe Clip .....	37
Slika 5-19. Prikaz odabira željenih granica .....	38
Slika 5-20. Pregledni prikaz karte zona koncentracije radona u RH .....	39

Slika 5-21. Prikaz karte zona koncentracije u RH (Direktiva EU iz 2013.) .....	40
Slika 5-22. Slikoviti prikaz područja koja se nalaze u kritičnoj zoni koncentracije radona .....	41
Slika 5-23. Prikaz županija u kojima se nalaze naselja u kritičnoj zoni .....	43
Slika 5-24. Prikaz područja u kojem se pojavljuju gnajsevi i graniti .....	44
Slika 5-25. Broj izmjerenih vrijednosti koncentracija radona na području od 10 km oko gnajseva .....	45
Slika 5-26. Prikaz izmjerenih vrijednosti koje prelaze granicu od 300 Bq/m <sup>3</sup> .....	47
Slika 5-27. Prikaz mjerenja koja se nalaze na potresnim područjima .....	48

## **POPIS TABLICA**

Tablica 3-1. Vremena poluraspada radona i njegovih kratkoživućih potomaka .....	7
Tablica 5-1. Popis područja u kritičnoj zoni .....	42
Tablica 5-2. Prikaz mjerenja na različitim zemljišnim pokrovima.....	46
Tablica 5-3. Prikaz izmjerenih vrijednosti u blizini potresnih područja.....	49



# 1. UVOD

Poznato je da je element radon radioaktivan, radiotoksičan te kancerogen ako se udiše. To je plin bez boje i mirisa te ga je, bez mjerenja koncentracije, nemoguće otkriti. Slobodno se širi zrakom te lako prolazi kroz većinu poroznih materijala, pukotina u Zemljinoj kori i stijenama pa tako i pukotina u građevinama. Plemeniti je plin pa teško stupa u kemijske reakcije. Poznato je oko dvadesetak izotopa, a od toga su tri prirodno radioaktivna izotopa koja nastaju u tlu radioaktivnim raspadom radija (tj. nalaze se u radioaktivnim nizovima uranija i torija):  $^{222}\text{Rn}$ ,  $^{220}\text{Rn}$  (toron) i  $^{219}\text{Rn}$  (aktinon). Zbog ovih karakteristika opasan je za život ljudi. Udisanjem radona i njegovih kratkoživućih potomaka uzrokuje se bolest - rak pluća.

Koncentracija radona ovisi o mnogim čimbenicima, a ponajviše o vrsti materijala i sastavu tla. Najviše koncentracije su u granitima i vulkanskim stijenama. Republika Hrvatska je većinom građena od vapnenaca i dolomita, odnosno sedimentnih stijena. Manje su zastupljeni graniti i gnajsevi.

Radon je teži od zraka i nakuplja se u zatvorenim, loše ventiliranim prostorijama, pa je potrebno obavljati mjerenja kako bi bili sigurni postoje li na pojedinim mjestima povećane ( $>300 \text{ Bq/m}^3$ ) koncentracije. Za ovo istraživanje najveću važnost ima  $^{222}\text{Rn}$  zbog svog duljeg poluživota od 3,825 dana naspram poluživota  $^{220}\text{Rn}$  od 55,6 s i  $^{219}\text{Rn}$  od 3,96 s. Stoga kada govorimo o radonu i njegovom mjerenju najčešće mislimo na izotop  $^{222}\text{Rn}$ , ako nije drugačije naznačeno. Cilj ovog rada je upravo prikaz izmjerenih koncentracija u GIS sustavu, odnosno izrada karte radona za područje Republike Hrvatske. Također, za razumijevanje pojave povećanih koncentracija aktivnosti radona na pojedinim mjestima izrađene karte uspoređivat će se s prikupljenim podacima, a rezultati će biti prikazani u daljnjem tekstu. GIS sustav za ovakvu vrstu problematike je iznimno upotrebljiv zbog praktičnog i jednostavnog prikaza geoprostornih podataka.

Podatke o mjerenju radona u stambenim prostorima ustupio je Laboratorij za niske radioaktivnosti Odjela za fiziku Sveučilista Josipa Jurja Strossmayera u Osijeku. Mjerenja su obavljena pasivnom metodom pomoću detektorskih kutijica i odvojivim detektorima nuklearnih tragova LR115 u trajanju od godine dana u razdoblju od 2003. do 2014. godine. Dio rezultata

je iz nacionalnog projekta mjerenja radona u kućama u RH financiranog od strane MZOS-a (znanstveno-istraživački projekt: Radioaktivnost u okolišu; radon, Radolić et al., 2006), dio iz diplomskih radova studenata (Bajkovec, 2015; Novaković, 2015; Kuštrin, 2009; Jurišić, 2010), a dio rezultata je financirao Državni zavod za radiološku i nuklearnu sigurnost (DZRNS) u sklopu redovnog praćenja stanja radionuklida u okolišu (Radolić et al., 2014; Radolić i dr., 2013; Radolić i dr., 2011; Varga Pajtler i dr., 2011; Radolić i dr., 2008; Poletto i dr., 2008).

## **2. GEOINFORMACIJSKI SUSTAV – GIS**

GIS (geoinformacijski sustav) je sustav dizajniran za prikupljanje, spremanje, integraciju, upravljanje, analiziranje i prikaz svih tipova geografskih, prostorno definiranih i opisnih podataka. Može se reći da je GIS baza podataka s posebnim mogućnostima rada s prostorno definiranim podacima kao i skup operacija za rad s takvim podacima.

Prostorni podaci odnose se na određeni položaj na Zemlji i pohranjeni su kao grafički elementi. Opisni (tekstualni) podaci povezani su s prostornim podacima i pohranjeni su u bazi podataka.

GIS pohranjuje geografske podatke zajedno sa njihovim značajkama i karakteristikama. Značajke se obično prikazuju kao točke, linije ili površine, a mogu biti prikazane i kao rasteri. Npr. na karti grada Zagreba ulice mogu biti prikazane kao linije, granice mogu biti prikazane kao površine dok skenirane karte mogu biti rasteri.

### **2.1. Prednosti GIS sustava**

Prednosti GIS sustava su:

- vizualizacija podataka
- povezivanje geografskih i atributnih podataka
- mogućnost interdisciplinarnog odlučivanja.

Vizualizacija podataka u GIS-u je mogućnost prikazivanja velikih količina podataka pohranjenih u računalu u jednostavnom, slikovitom i čovjeku bliskom obliku.

Unošenje geografskih obilježja u računalu te njihovo povezivanje s atributnim podacima pruža mnoge mogućnosti analize, zaključivanja i logičkog interpretiranja.

Interdisciplinarno povezivanje različitih područja promatranja je potencijal ograničen samo čovjekovom maštom (Perković, 2010).

Sve navedene prednosti GIS sustava te njegova upotreba trebali bi dovesti do boljeg upravljanja informacijama, kvalitetnijih analiza i povećanja efikasnosti nekog konkretnog projekta.

## **2.2. Primjena GIS tehnologije**

U današnje vrijeme primjena GIS-a je sve veća, te ta tehnologija pronalazi svoju svrhu u različitim ljudskim djelatnostima. Neke od njih su:

- zbrinjavanje i odlaganje otpada (kartiranje lokacija odlagališta otpada, analize utjecaja odlagališta na okoliš, odabir lokacije odlagališta...)
- zaštita okoliša (upravljanje šumama, analize utjecaja, upravljanje zaštićenim područjima, kartiranje radonom ugrožena područja...)
- naftno rudarstvo (istraživanje, distribucija i proizvodnja nafte i plina...)
- geodezija (katastar zemljišta, kartografija i tematsko kartiranje...)
- vatrogasna služba (pronalaženje optimalnog puta do nesreće – duljina puta, širina puta, kvaliteta prometnice i sl.)
- zdravstvo (planiranje zdravstvene infrastrukture, kartiranje bolesti...)
- marketing i prodaja (pronalaženje kupaca i potencijala nekog tržišta...)
- osiguranje (analize rizika, planiranje katastrofa, analize usluga korisnicima...)
- komunalno gospodarenje gradova (voda, struja, grijanje, telekomunikacije, televizija, internet)
- meteorologija (kartiranje senzora za praćenje udara munje, prikaz grmljavinskih karata...)
- turizam (prikaz hotela, restorana, plaža...)

GIS se u ovom diplomskom radu koristio za kartiranje svih detektora postavljenih na području Republike Hrvatske koji služe za mjerenja razine radona u zraku. Ovim kartiranjem dobiju se različiti tipovi karta pomoću kojih se kvalitetnije upravlja svim raspoloživim informacijama, a dobije se i slikovit prikaz svih kritičnih područja u kojima je razina radona iznad dopuštene razine.

### 3. RADON

Radon je otkrio Fredrich Ernst Dorn 1898. godine (prema nekim izvorima 1900. godine) i nazvao ga je radij emanacija. Tek 1908. godine William Ramsay i Robert Whytlaw-Gray izolirali su radon, odredili mu gustoću i nazvali ga niton (od latinske riječi nitens koja znači blistav, svijetao; simbol Nt). Naziv radon nastaje tek 1923. godine (Majević, 2007).

Osnovne činjenice o radonu su:

- radon je prirodni radioaktivni plin koji se pojavljuje u zatvorenim prostorima poput kuća, škola i radnih mjesta
- radon je, poslije pušenja, drugi najvažniji uzrok raka pluća
- radon je uzrok 3 - 14% bolesti raka pluća, ovisno o razini radona na određenom području te o broju zastupljenosti pušača
- kako nije poznata donja granica koncentracije radona koja ne uzrokuje rizik oboljenja od raka pluća, smatra se sljedeće - što je niža razina koncentracije radona u zatvorenom prostoru to je manji rizik oboljenja od raka pluća
- za prevenciju nakupljanja radona u novim građevinama te smanjenje koncentracije radona u postojećim građevinama postoje ispitane, trajne i isplative metode

Radon je kemijski element sa simbolom Rn i atomskim brojem 86. Radioaktivan je, jako radiotoksičan i kancerogen ako se udiše. Pri normalnim uvjetima plin je bez boje, okusa i mirisa. Pripada skupini plemenitih plinova i najteži je poznati plin. Pri sobnoj temperaturi je oko osam puta teži od zraka.

U prirodi je vrlo rijedak, ali kao produkt raspada prati radioaktivne elemente od kojih nastaje, te se u tragovima kao plin širi u njihovoj okolini čineći i nju radioaktivnom. Svi izotopi radona su radioaktivni i nastaju kao proizvodi raspadnih nizova uranija, aktinija i torija. Postoji preko trideset različitih izotopa radona. Najznačajniji izotop je  $^{222}\text{Rn}$  (radon) i nastaje  $\alpha$  raspadom izotopa radija 226 i pripada uranijevom raspadnom nizu. Vrijeme poluraspada  $^{222}\text{Rn}$  je  $t_{1/2} = 3,825$  dana, a prosječno vrijeme života mu je  $\tau = 5,51$  dana. Ovaj izotop ima četiri kratkoživuća

potomka:  $^{218}\text{Po}$ ,  $^{214}\text{Pb}$ ,  $^{214}\text{Bi}$  i  $^{214}\text{Po}$ , od kojih se oba polonija raspadaju  $\alpha$  raspadom, a bizmut i olovo  $\beta$  i  $\gamma$ . Drugi značajan izotop radona je  $^{220}\text{Rn}$  (toron), s vremenom poluraspada  $t_{1/2} = 55,6$  s i prosječnim vremenom života od  $\tau = 80,2$  s. Ovaj izotop nastaje u raspadnom nizu torija po kojemu i nosi ime. Slično kao i  $^{222}\text{Rn}$ , ima četiri kratkoživuća potomka:  $^{216}\text{Po}$ ,  $^{212}\text{Pb}$ ,  $^{212}\text{Bi}$  i  $^{212}\text{Po}$ . Zbog relativno kratkog vremena poluraspada, toron prevladuje puno kraće udaljenosti nego radon te je njegov utjecaj manje zanimljiv jer predstavlja iznimno lokalni doprinos ukupnoj radioaktivnosti. Treći izotop je  $^{219}\text{Rn}$  (aktinon), s vremenom poluraspada  $t_{1/2} = 3,9$  s i prosječnim vremenom života od  $\tau = 5,7$  s. Ime dobiva po aktinijevom raspadnom nizu.

Tablica 3-1. Vremena poluraspada radona i njegovih kratkoživućih potomaka

RADIONUKLID	VRIJEME POLURASPADA
<b>RADON</b>	
$^{222}\text{Rn}$	3,825 d
$^{218}\text{Po}$	3,05 min
$^{214}\text{Pb}$	26,8 min
$^{214}\text{Bi}$	19,7 min
$^{214}\text{Po}$	163,7 $\mu\text{s}$
$^{210}\text{Pb}$	22,3 god
$^{210}\text{Bi}$	5,013 d
$^{210}\text{Po}$	138,38 d
<b>TORON</b>	
$^{220}\text{Rn}$	55,6 s
$^{216}\text{Po}$	150 ms
$^{212}\text{Pb}$	10,64 h
$^{212}\text{Bi}$	60,6 min
$^{212}\text{Po}$	0,298 $\mu\text{s}$
$^{208}\text{Tl}$	3,053 min
<b>AKTION</b>	
$^{219}\text{Rn}$	3,96 s
$^{215}\text{Po}$	1,78 ms
$^{211}\text{Pb}$	36,1 min
$^{211}\text{Bi}$	2,14 min
$^{207}\text{Tl}$	4,77 min

Razlog što se u zraku u blizini tla nalaze tragovi radona je difundiranje radona iz stijena. Jednako tako, probijajući se kroz pukotine i temelje, može se nakupljati i u zgradama koje se slabo provjetravaju. Izloženost radonu u većim koncentracijama i tijekom dugog vremena, posebno u područjima s ležištima uranijevih minerala, može povećati mogućnost obolijevanja od raka pluća (Darby et al., 2006).

U prirodi je koncentracija radona vrlo niska zbog brzog raspršivanja radona u zraku. Stoga, radon u prirodi ne uzrokuje zdravstvene probleme. Međutim, radon se može nakupljati u građevinama u većim koncentracijama koje uzrokuju oboljenja.

Glavni izvori radona u objektima su: tlo neposredno ispod objekta (85-90%), građevinski materijal (5-10%), podzemne vode (oko 5%) i zemni plin (manje od 1%). Parametri koji utječu na koncentraciju radona u objektima dijele se na prirodne i tehničke odnosno tehnološke. Prirodni parametri uključuju geološki sastav tla, strukturu tla, klimatske i meteorološke parametre. Tehnički odnosno tehnološki parametri uključuju: način gradnje objekta za stanovanje, broj i veličinu mikropukotina u objektu koje su u neposrednom kontaktu s tlom i životne navike ljudi (provjetravanje prostorija, način zagrijavanja i slično) (<http://radon.dzrns.hr/o-radonu/>).

Ukoliko prostorija sadrži visoke koncentracije radona, najveći izvor radona u većini slučajeva je tlo ispod kuće. Ovdje je od velike važnosti vrsta tla ispod građevine. Ukoliko se radi o tlu visoke propusnosti (poput pjeskovitog tla), radon se lako može kretati i time uzrokovati visoku koncentraciju radona unutar zatvorenih prostorija (Kemski, 2001).

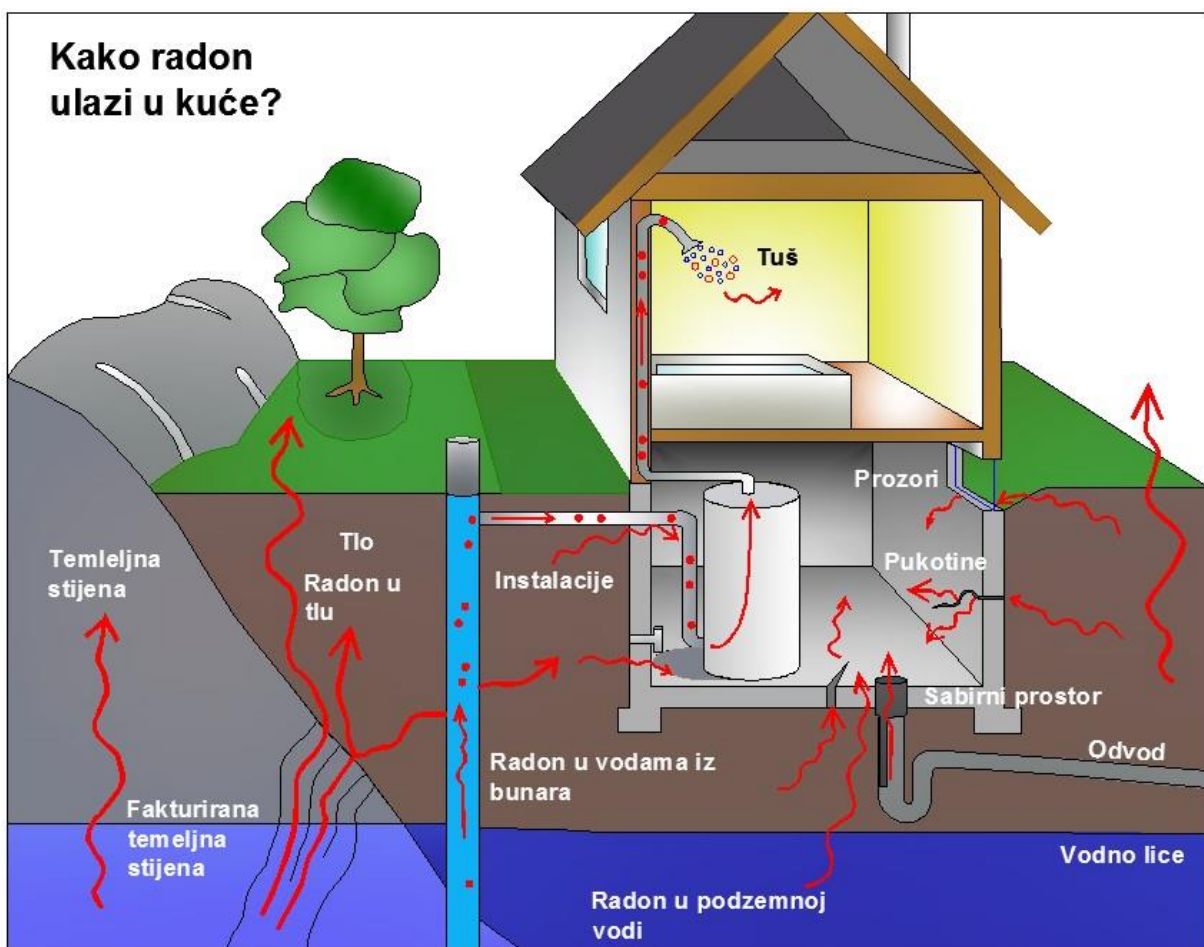
Koncentracija radona u stambenim prostorijama ovisi o:

- količini uranija u tlu i stijenama
- pukotinama koje radonu omogućuju prolaz iz tla u kuću
- razini izmjene unutarnjeg i vanjskog zraka (ta razina ovisi o načinu gradnje kuće, prozračivanju i nepropusnosti objekta)

Najveće koncentracije radona obično su u podrumima, konobama i drugim građevinskim objektima koja su u dodiru s tlom. Radon ulazi u domove kroz pukotine u podovima ili na katu na spojevima konstrukcija, šupljinama oko cijevi i kabela te kroz male šuplje pore u zidovima kao i kroz kanalizaciju (slika 3-1) (<http://sante.gouv.qc.ca/en/conseils-et-prevention/radon-domiciliaire/>).

Koncentracija radona može varirati između susjednih kuća, a u kući se može mijenjati iz dana u dan ili čak iz sata u sat. Zbog tih promjena najbolje je mjeriti godišnju prosječnu koncentraciju radona za najmanje tri mjeseca (<http://sante.gouv.qc.ca/en/conseils-et-prevention/radon-domiciliaire/>).





Slika 3-1. Kako radon ulazi u kuću?

(Izvor: <http://sante.gouv.qc.ca/en/conseils-et-prevention/radon-domiciliaire/>)

Prosječna koncentracija radona u kućama u svijetu iznosi oko  $50 \text{ Bq/m}^3$ , a na otvorenom prostoru ona iznosi oko  $15 \text{ Bq/m}^3$ . Komisija Europske Unije (EU) je odlukom 90/143/Euratom iz 1990. godine preporučila da srednje godišnje koncentracije radona u zraku u kućama ne bi trebale premašiti vrijednosti od  $400 \text{ Bq/m}^3$  za starogradnju i  $200 \text{ Bq/m}^3$  za novogradnju. Iznad tih vrijednosti opravdano je započeti poduzimanje protumjera za snižavanje razine radona vodeći računa i o ekonomskim odnosno društvenim faktorima (Bajkovec, 2015).

Direktiva EU iz 2013. godine (2013/59/Euratom) dalje naglašava potrebu praćenja koncentracije radona u kućama i radnim mjestima te preporuča nacionalnim regulatornim

tijelima u zemljama EU da propisane referentne vrijednosti ne bi smjele premašiti iznos od 300 Bq/m<sup>3</sup> kako za kuće tako i za radna mjesta (Bajkovec, 2015).

## **4. DOSADAŠNJA ISTRAŽIVANJA NA RAZVOJU RADONSKIH ZEMLJOVIDA**

### **4.1. Radonski zemljovidi u Europi**

Kada se govori o radonskim zemljovidima u Europi prvenstveno se treba odgovoriti na sljedeća pitanja:

1. Je li potrebna karta radona?
2. Na koji način se može pripremiti?
3. Za koju svrhu se izrađuje karta?

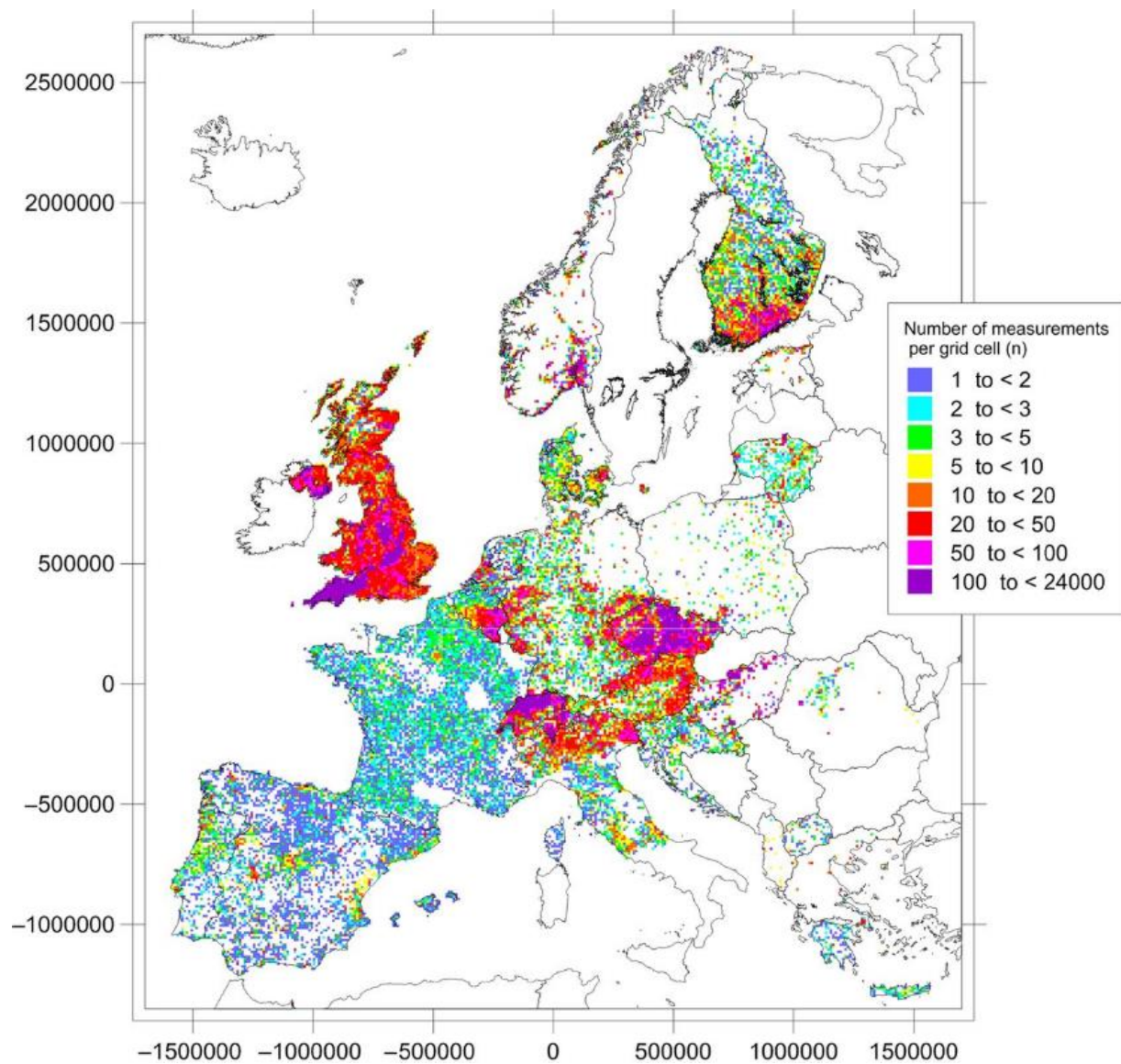
Odgovor na prvo pitanje je relativno jednostavno – DA. Kao rezultat različitih istraživanja pokazalo se da je radon opasan i kao takav, njegov utjecaj treba shvaćati ozbiljno. Nadalje, prema istraživanjima zaključeno je da radon uzrokuje opasnost oboljenja raka pluća. Radon u kućama zaslužan je za oko 9% smrtnosti uzrokovanih rakom pluća, dok je u Europi 2% ljudi umrlo od raka pluća uzrokovanog radonom. Donedavna istraživanja su pokazala čak i širi spektar utjecaja radona na ljudsko zdravlje.

Odgovor na drugo i treće pitanje je puno složenije od prvog. Najveći izvor radona u zatvorenim prostorijama, u većini slučajeva, je temeljno tlo. Za mjerenje radona u tlu i u zatvorenim prostorijama postoje dobro razvijene metode i instrumenti. U europskim zemljama postoje različiti pristupi klasifikacije rizika od radona. Npr. u Velikoj Britaniji i Švicarskoj se koriste metode mjerenja radona u zatvorenim prostorijama, dok se u Njemačkoj i Češkoj koriste metode mjerenja radona u tlu. Obje vrste mjerenja se mogu koristiti za kartiranje.

Metode kartiranja te ulazni podaci za europsku kartu radona su veoma različiti u različitim zemljama. Stoga bi na temelju znanstvenih i administrativnih praktičnih potreba trebalo raspraviti o korištenju određenih metoda. Rezultat kartiranja bi trebala biti karta jednostavna za “čitanje”, upotrebljiva za sve zemlje Europe te korisna za određivanje rizika od radona za ljude koji žive na određenom području (Barnet et al., 2004).

Kako je istraživanje pokazalo za većinu europskih zemalja postoje podaci o mjerenju koncentracija radona u stambenim prostorijama. Na osmoj međunarodnoj konvenciji o

geološkom aspektu kartiranja rizika od radona, održanoj u Pragu 2006 godine, sve prisutne zemlje su pristale na izradu zajedničke karte radona za područje Europe. Zajednički istraživački centar (JRC) Europske komisije donio je odluku korištenja grid metode za izradu ove karte. U grid metodi svi izvorni podaci se postavljaju u mrežu podataka (grid) te se za svaku ćeliju preračunavaju određeni podaci: aritmetička sredina, standardna devijacija, minimum, median, maksimum, te broj mjerenja po ćeliji. Sva kartirana količina podataka namjerava pokazati mrežu veličine preko 10x10 km koja sadrži podatke o godišnjoj razini koncentracije radona u prizemnim prostorijama građevina. Do svibnja 2014 godine 24 zemlje su sudjelovale u izradi karte radona. Prikupljeni podaci popunjavaju više od 21 000 ćelija unutar mreže, što znači da postoji više od 800 000 individualnih mjerenja koji pokrivaju velik dio Europe. Broj mjerenja po ćeliji i pokrivenost teritorija uvelike odstupa od države do države. Pa tako, nekoliko država ima i više od 100 mjerenja po ćeliji dok neke imaju samo jedno mjerenje po ćeliji (slika 4-1) (<https://academic.oup.com/rpd/article-lookup/doi/10.1093/rpd/ncu244>).



Slika 4-1. Prikaz gustoće mjerenja po ćeliji mreže

(Izvor: <https://academic.oup.com/rpd/article-lookup/doi/10.1093/rpd/ncu244>)

## 4.2. Raspoloživi ulazni podaci

Četiri osnovna tipa podataka za izradu karte radona u GIS-u su:

- radiološki podaci o okolišu
- radon u stambenim prostorijama
- geološki podaci
- administrativni podaci

**Radiološki podaci o okolišu** su najčešće dostupni u obliku karata koje su rezultat mjerenja radona u zraku ili rezultat istraživačkih mjerenja. U pojedinim državama su dostupni i podaci mjerenja radona u tlu.

Za zaštitu od štetnog utjecaja radona diljem zemlje, državna tijela provode programe čiji su rezultati **podaci o radonu u zatvorenim prostorijama**, što obično znači bolju postojanost podataka. Svaki podatak predstavlja količinu (obično prosječnu vrijednost koncentracije radona u zatvorenom prostoru) povezanu s vremenskim intervalom mjerenja. Prednosti ovakve vrste podataka su u sličnosti metoda mjerenja u pojedinim državama. Također, ova vrsta podataka se lako može povezati s GIS koordinatma koristeći administrativne podatke (vlasnik objekta, adresa objekta, kućni broj, općina...). Nedostatak ovih vrsta podataka je taj što na dobivenu završnu vrijednost utječe velik broj čimbenika (starost objekta, karakteristike objekta, meteorološki uvjeti...). Ovi nedostaci mogu se ukloniti ukoliko se koriste dugotrajna mjerenja i pravilni upisi različitih čimbenika koji utječu na završnu vrijednost tijekom kratkotrajnih mjerenja. Svrha mjerenja koncentracije radona u zatvorenim prostorijama je dobivanje prosječne vrijednosti radona u određenom objektu. Također, omogućuje pojednostavljenu obradu podataka, digitalizaciju podataka te omogućava geostatističko modeliranje u područjima u kojima još nisu izvršena mjerenja (Barnet et al, 2004).

**Geološki podaci** se obično baziraju na vektoriziranim geološkim kartama. Europske zemlje raspolažu različitim geološkim kartama s različitim geološkim podjelama i koordinatnim sustavima. Dugotrajno znanstveno iskustvo u klasifikaciji stijena bazirano na mineraloškim, strukturnim, geokronološkim i kemijskim istraživanjima predstavlja prednost kod geoloških podataka. Osim toga, različiti koordinatni sustavi korišteni kod geoloških karata se lako mogu

riješiti transformacijama unutar samog GIS softvera. Veći problem stvaraju različitosti u podjelama koje imaju direktan utjecaj kod opisivanja geoloških i litoloških informacija. Međutim, dosadašnja postignuća u međunarodnim projektima geološkog kartiranja pokazala su da postoji mogućnost pronalaženja jedinstvene klasifikacije te litološke podjele (Barnet et al, 2004).

Za izradu radonskih karata najjednostavniji podaci su već postojeći **administrativni geoprostorni podaci** za općine i gradove kao jedinice lokalne samouprave te županije kao jedinice regionalne samouprave. U praktičnoj primjeni, ovi podaci su najbolji za korištenje u GIS-u (Barnet et al, 2004).

### 4.3. Radonski zemljovid i RH

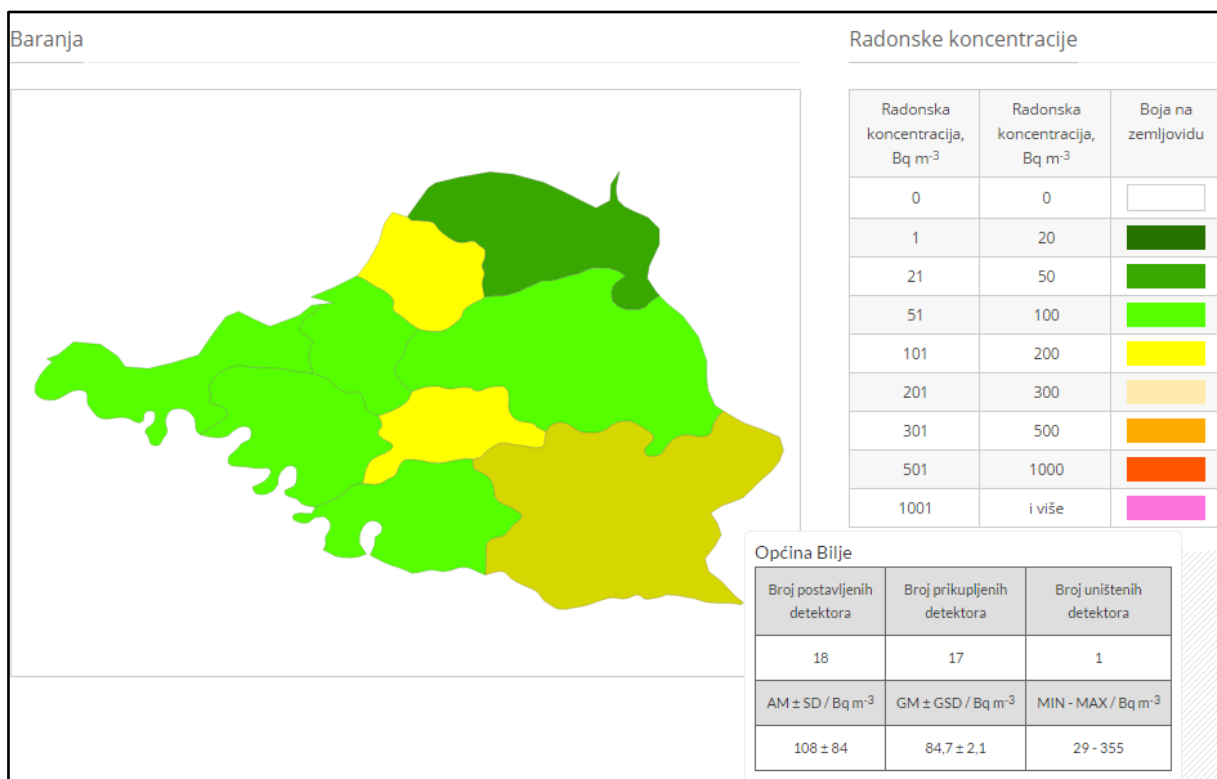
Na području Republike Hrvatske (RH), karta radona izrađena je za pet županija i to za: Baranju, Požeško-slavonsku, Sisačko-moslavačku, Karlovačku, Ličko-senjsku i Istarsku županiju (slika 4-2).



Slika 4-2. Prikaz županija za koje je izrađena karta

(Izvor: <http://radon.dzrns.hr/o-radonu/>)

Karte su podjeljene prema detektorima koji su postavljeni u srednjim i osnovnim školama, vrtićima i kućama. Sve karte su javne i dostupne na internetskoj stranici Državnog zavoda za radiološku i nuklearnu sigurnost (<http://radon.dzrns.hr/>). Međutim, izrađene karte ne omogućuju dobru preglednost i nije obuhvaćen cijeli prostor RH (slika 4-3). Stoga je potrebno izraditi kartu radona za cjelokupno područje RH.



Slika 4-3. Primjer karte dostupne na Internet stranicama Državnog zavoda za radiološku i nuklearnu sigurnost

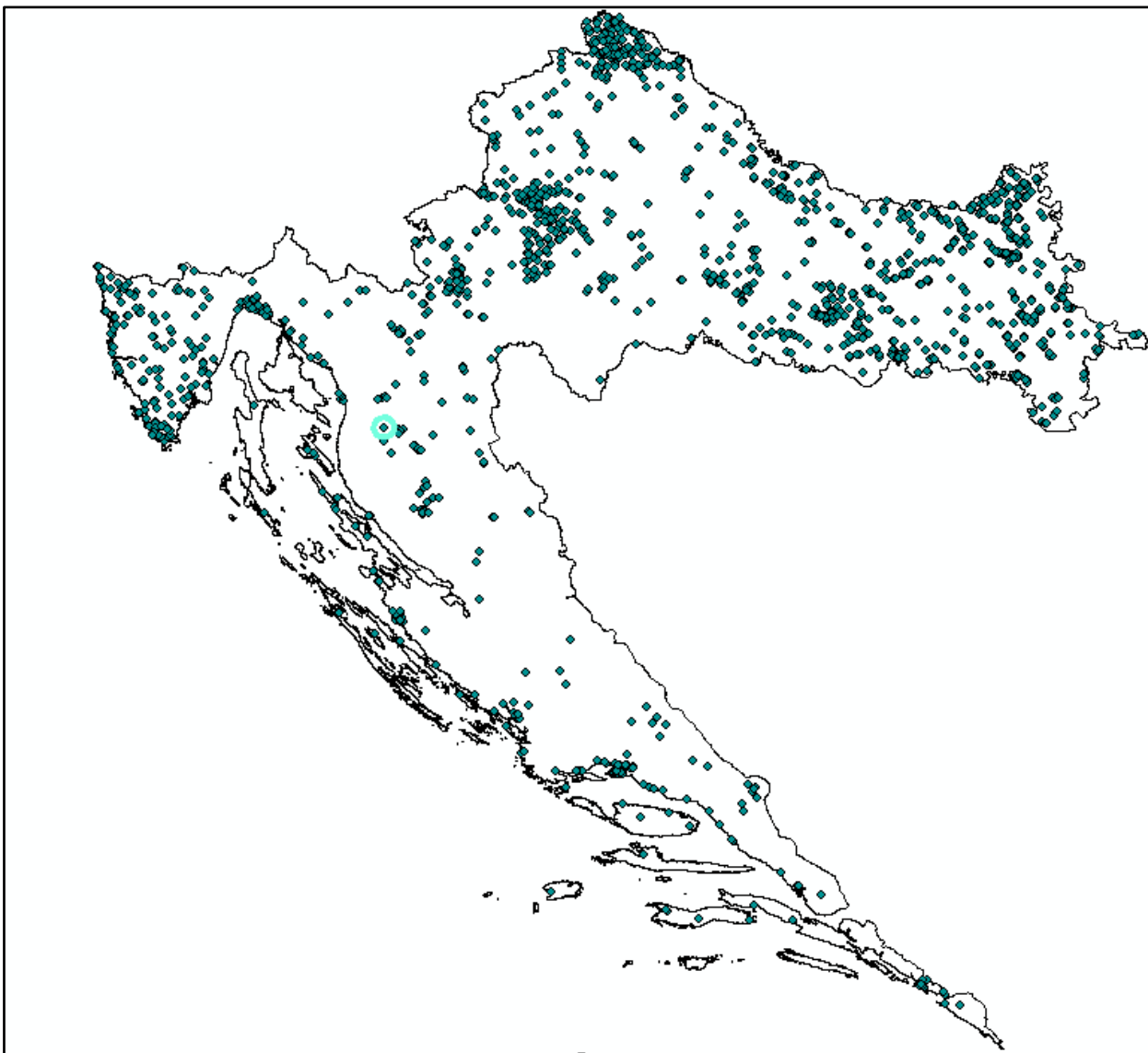
(Izvor: <http://radon.dzrns.hr/radonski-zemljovidi/kuce/baranja/>)

Izrada ovakve karte u GIS-u omogućuje lakše analiziranje prikupljenih podataka, lakšu izradu različitih oblika izvještaja, lakše donošenje zaključaka te postupaka potrebnih za sprječavanje/saniranje opasnosti, lakšu vizualizaciju podataka.

Prema dobivenim podacima diljem RH postavljeno je 1913 detektora za mjerenje koncentracije radona u zatvorenim prostorijama. Podatke je ustupio Odjel za fiziku Sveučilišta Josipa Jurja Strossmayera u Osijeku. Detektori su postavljeni u svrhu izrađivanja radonske karte Hrvatske u



GIS softveru, te u svrhu utvrđivanja doznog ekvivalenta. Na slici 4-4 prikazan je raspored svih postavljenih detektora. Na karti je plavozelenom kružnicom označena lokacija detektora s najvećom izmjerenom koncentracijom od 1705 Bq/m<sup>3</sup> kod naselja Ponori u Ličko-senjskoj županiji.



Slika 4-4. Prikaz postavljenih detektora u RH

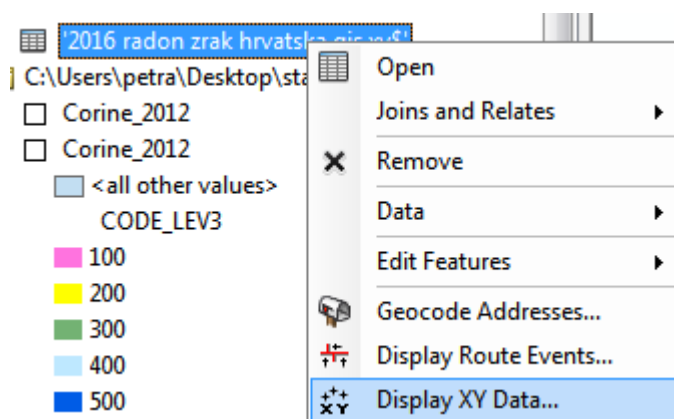
## 5. FAZE RAZVOJA GIS PROJEKTA

### 5.1. Ulaz podataka u GIS

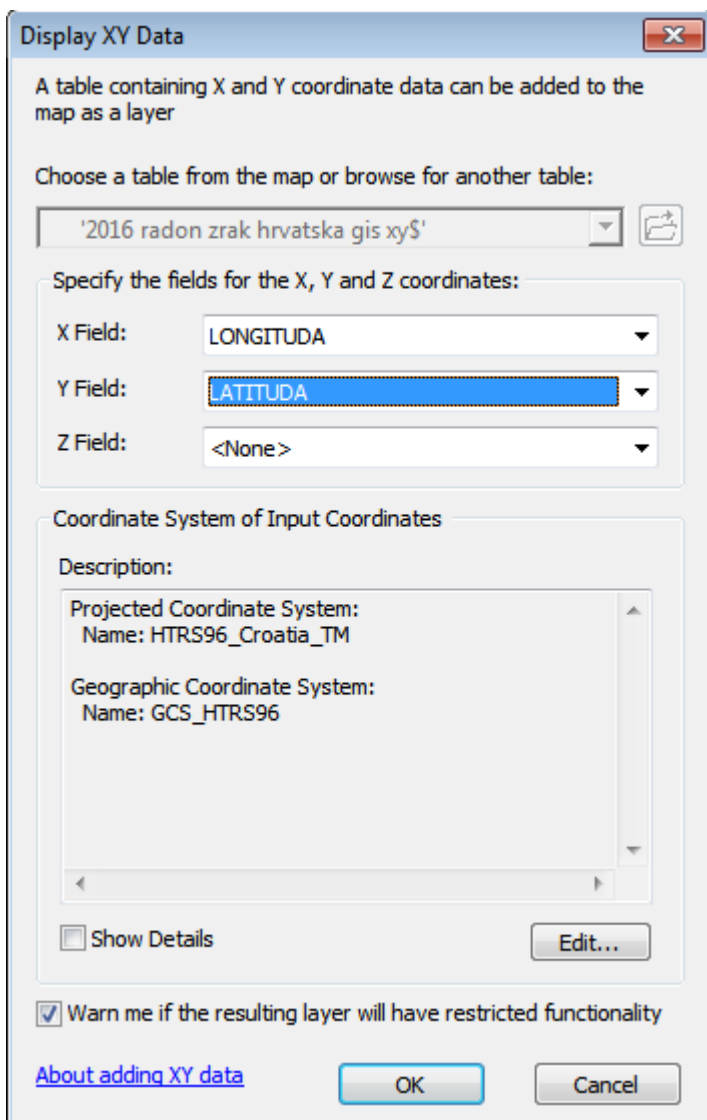
Prije početka izrade radonskih karata u GIS-u, potrebno je pripremiti sve dobivene ulazne podatke. Pri izradi ovog diplomskog rada priprema podataka je obuhvatila uređivanje MS Excel datoteka za GIS namjenu što uključuje:

- izrada kopije Excel datoteke, te preimenovanje iste npr. *2016-11-08 radon zrak hrvatska gis xyc-1913-podataka.xls* → *Summarize.xlsx* (izbacivanje naših slova ukoliko je potrebno)
- izbacivanje svih dijakritičkih znakova naše abecede (č, ć, đ, š i ž), praznih mjesta (blanks) i ostalih specijalnih znakova (-, /, \ i sl.) unutar dobivene Excel datoteke. Osim toga, razmak u nazivu lista i razmak u obliku reda također ne smije biti u Excelu.
- unutar Excela također treba paziti i na linkove i formule u ćelijama. Ako postoji link ili formula unutar ćelije, treba ga zamijeniti pravom izračunatom vrijednošću.

Konačan rezultat su tablice u GIS-u koje moraju nakon povezivanja i pokretanja opcije Display XY Data prikazivati sve objekte na karti te sve podatke u atributnoj tablici (Slika 5-1 i Slika 5-2).



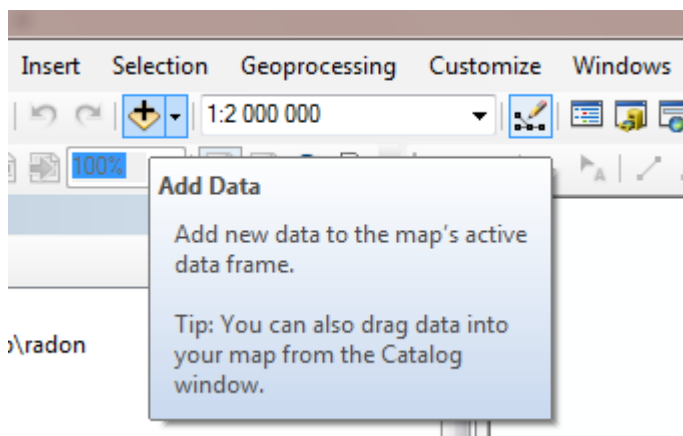
Slika 5-1. Pokretanje naredbe Display XY Data



Slika 5-2. Prikaz naredbe Display XY Data

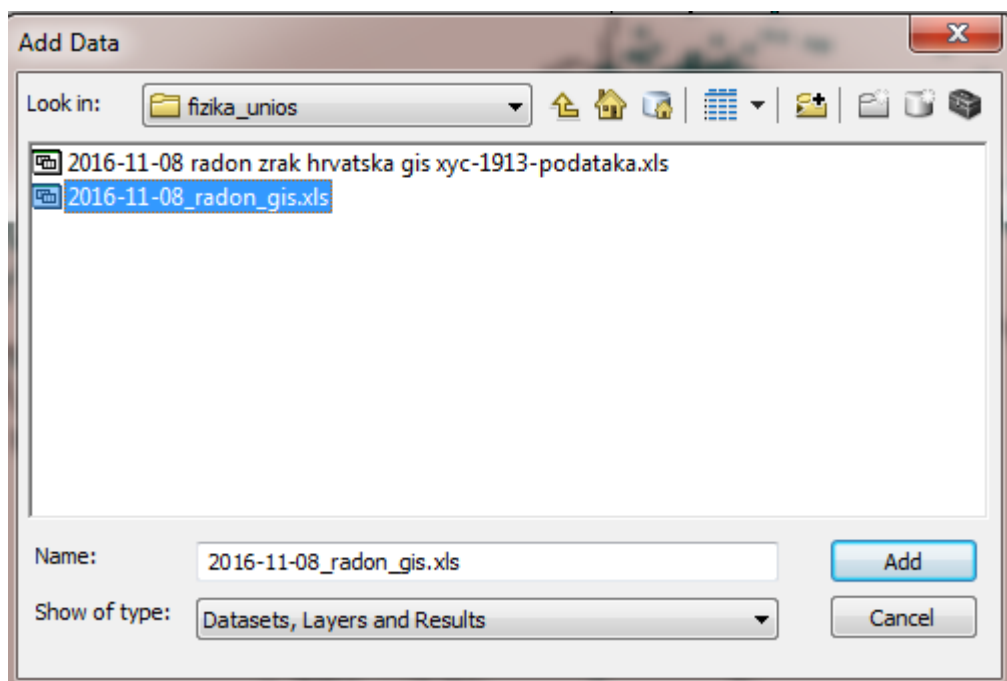
Osim dodanih Excel tablica, u GIS je potrebno unijeti i određene GIS slojeve koji su korišteni za analizu podataka, tematsko modeliranje te prostorno povezivanje. Korišteni slojevi su : listovi Osnovne geološke karte SFRJ (svi skenirani i georeferencirani listovi 1:100000), topografska karta RH 1:25000 i 100000 (DGU Geoportal), karta potencijanih područja ležišta granita i gnajseva (Calx, 2016) i na kraju sloj potresnih područja i rasjeda RH (Frangen, 2007).

Unošenje karata u GIS se izvodi na isti način kao i unošenje Excel tablica. To je učinjeno tako što se na alatnoj traci odabere naredba *Add Data* kao što je prikazano na slici 5-3.



Slika 5-3. Naredba Add Data

Odabirom naredbe otvara se novi prozor (slika 5-4).

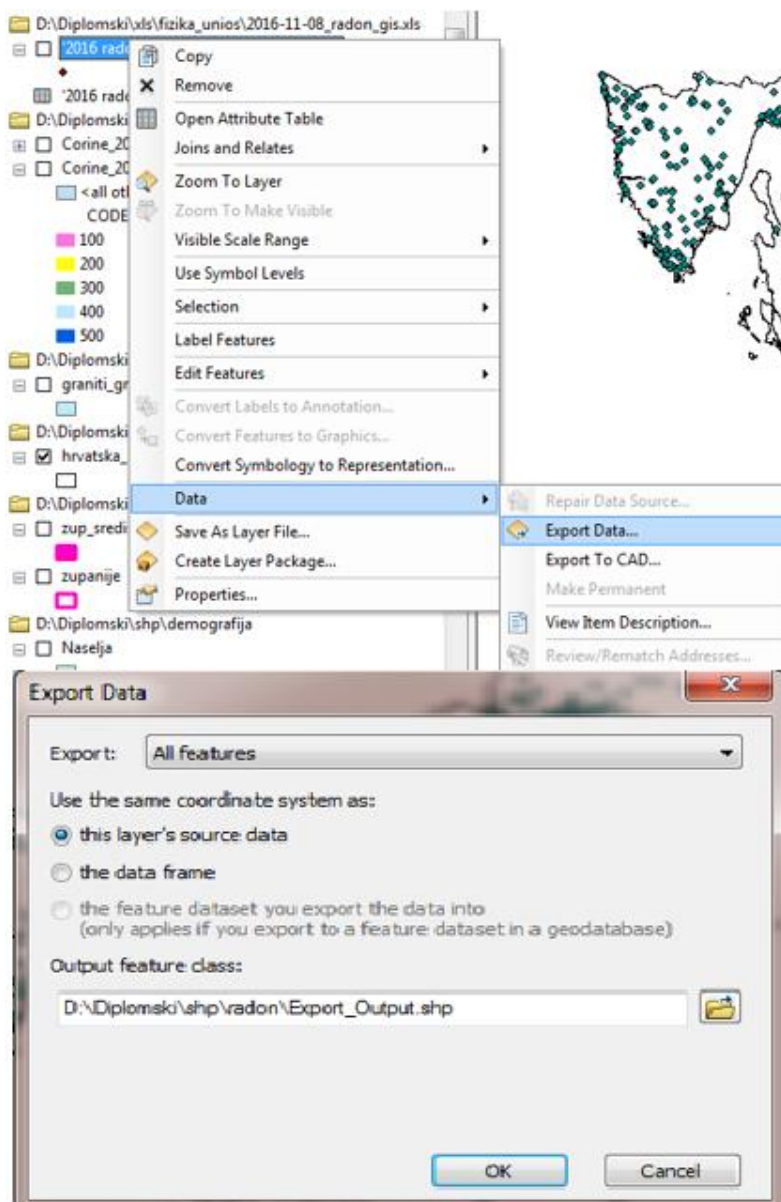


Slika 5-4. Prikaz dijaloškog okvira Add Data

U tom prozoru pronađe se određena karta/atributna tablica i doda se u GIS.

Nakon što je to učinjeno, potrebno je izvesti (eng. export) privremenu GIS tablicu u trajni GIS sloj (eng. shapefile) i to se radi pomoću opcije Data\Export Data da bi se kasnije moglo napraviti prostorno povezivanje (eng. Spatial Join). Data Export se izvodi prema sljedećim uputama (slika 5-5):

- desni klik na sloj
- odabrati Data
- zatim Export Data.



Slika 5-5. Slikoviti prikaz postupka izvođenja Export Data te istog dijaloškog okvira

Kao što je prethodno prikazano, sljedeći postupak je Spatial Join, odnosno prostorno povezivanje. Postupak je objašnjen u poglavlju 4.3. Prostorno povezivanje.

## 5.2. Tematsko modeliranje

Svaki objekt prikazan u GIS-u, geometrijskim oblikom povezuje se s nekim tematskim aspektima. Zato GIS mora imati sposobnost i geometrijskog i tematskog modeliranja prostornih podataka. Analizom podataka moguće je prekrivanje, tj. tematsko spajanje slojeva, čime se mogu dobiti razna rješenja prema željenim kriterijima (Perković, 2010). Npr. grafički sloj karte Hrvatske može se prekriti tematskim slojem koji sadrži podjelu područja prema vrsti zemljišnog pokrova i namjeni korištenja zemljišta (umjetne površine, poljoprivredna područja, šume i poluprirodna područja, vlažna područja i vodene površine) (<http://www.azo.hr/CORINELandCover>). Podjela područja prema vrsti zemljišnog pokrova u GIS-u prikazana je na slici 5-6.

<b>CORINE Land Cover</b> <b>Klase pokrova zemljišta</b> <u>CORINE Land Cover classes</u>				
1. razina	2. razina	3. razina	Boja	Naziv klase
1. Umjetne površine	1.1. Gradska područja	111		Cjelovita gradska područja
		112		Nepovezana gradska područja
	1.2. Industrijski, komercijalni i transportni objekti	121		Industrijski ili komercijalni objekti
		122		Cestovna i željeznička mreža i pripadajuće zemljište
		123		Lučke površine
		124		Zračne luke
	1.3. Rudokopi, odlagališta otpada i gradilišta	131		Mjesta eksploatacije mineralnih sirovina
		132		Odlagališta otpada
		133		Gradilišta
	1.4. Umjetni, nepoljoprivredni, biljni pokrov	141		Zelene gradske površine
		142		Športsko rekreacijske površine
2. Poljoprivredna područja	2.1. Obradivo zemljište	211		Nenavodnjavano obradivo zemljište
		212		Trajno navodnjavano zemljište
	2.2. Višegodišnji nasadi	221		Vinogradi
		222		Voćnjaci
		223		Maslinici
	2.3. Pašnjaci	231		Pašnjaci
		241		Jednogodišnji usjevi u zajednici s višegodišnjim
	2.4. Heterogena poljoprivredna područja	242		Mozaik poljoprivrednih površina
		243		Pretežno poljoprivredno zemljište, s značajnim udjelom prirodnog biljnog pokrova
		244		Poljoprivredno-šumska područja
3. Šume i poluprirodna područja	3.1. Šume	311		Bjelogorična šuma
		312		Crnogorična šuma
		313		Mješovita šuma
		321		Prirodni travnjaci
	3.2. Gmolinke i travne, prirodne biljne zajednice	322		Kontinentalna grmolika vegetacija (vrištine, cretovi i niske šikare)
		323		Mediterranska grmolika vegetacija (sklerofilna)
		324		Sukcesija šume (zemljišta u zarastanju)
	3.3. Otvorene površine sa malo ili bez vegetacije	331		Plaže, dine i pijesci
		332		Gole stijene
		333		Područja s oskudnom vegetacijom
		334		Opožarena područja
4. Vlažna područja	4.1. Kopnena vlažna područja	411		Kopnene močvare
		412		Tresetišta
	4.2. Priobalna vlažna područja	421		Slane močvare
		422		Solane
		423		Područja plimnog utjecaja
5. Vodene površine	5.1. Kopnene vode	511		Vodotoci
		512		Vodna tijela
	5.2. Morske vode	521		Obalne lagune
		522		Estuariji
		523		More

Slika 5-6. Prikaz podjele vrste zemljišnog pokrova

(Izvor: [file:///C:/Users/petra/Downloads/CLC\\_legenda.pdf](file:///C:/Users/petra/Downloads/CLC_legenda.pdf))

### 5.3. Prostorno povezivanje

Mnoge informacije koje su dostupne za analizu sadrže između ostaloga i podatke o referentnoj lokaciji. Te informacije se mogu smjestiti na određenu točku na karti/globusu. Upravo takvo povezivanje podataka/informacija se naziva prostorno povezivanje. Naredba kojom se izvodi prostorno povezivanje u GIS softveru naziva se Spatial Join.

Postupak provođenja ove naredbe se izvodi prema sljedećim uputama (slika 5-7):

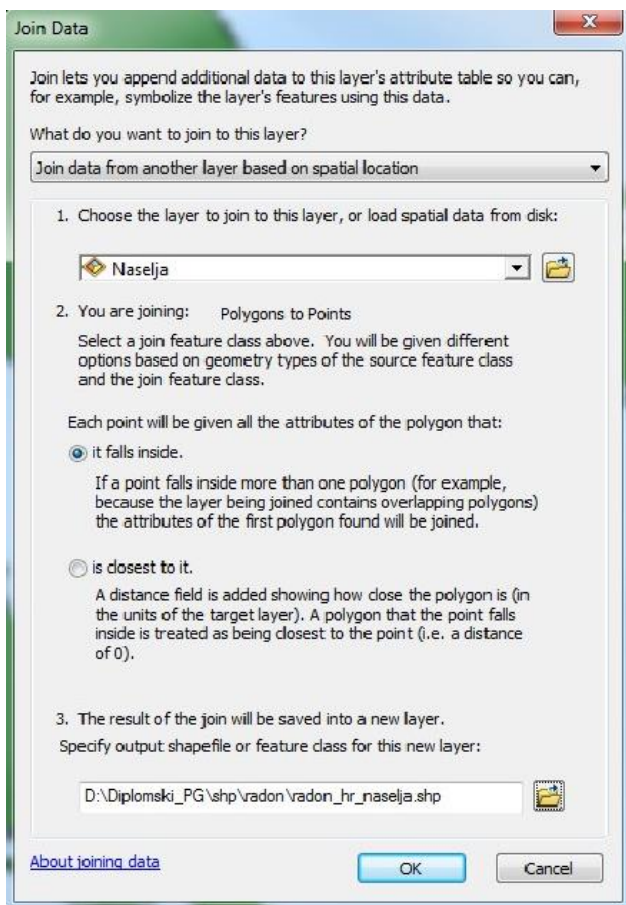
- desni klik na sloj
- odabrati Joins and Relates
- zatim odabrati Join



Slika 5-7. Prikaz opcije Joins and Relates

Nakon toga otvara se novi dijaloški okvir u kojem postavljamo postavke kako nam odgovara (slika 5-8).





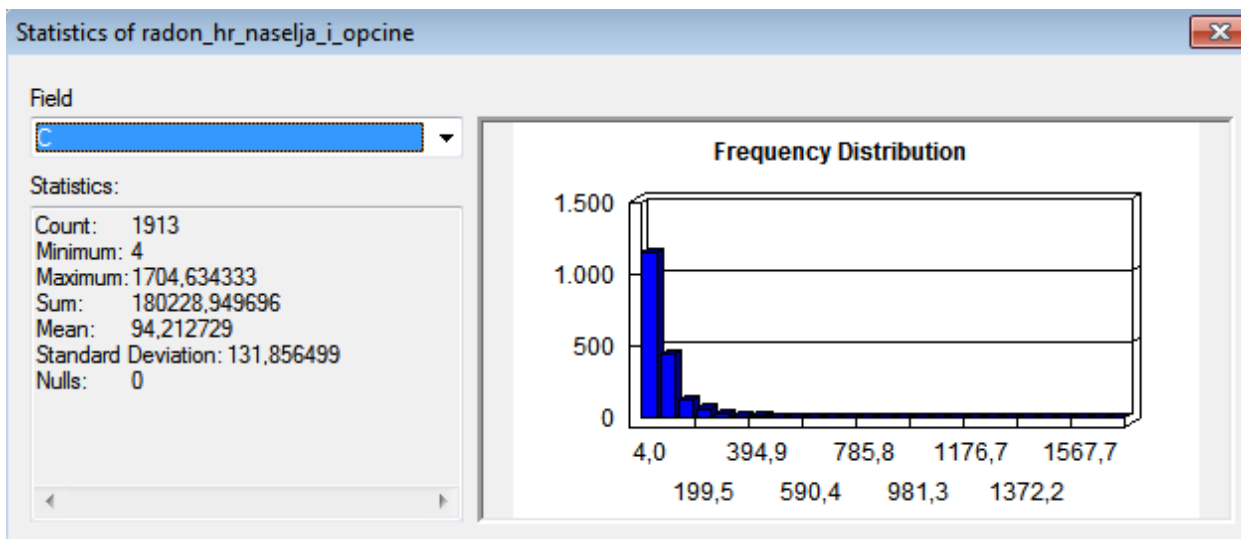
Slika 5-8. Dijaloški okvir Join Data

Završetkom ovog postupka pripremljeno je sve što je potrebno za prostornu analizu te izradu različitih karata kao kombinaciju više slojeva.

## 5.4. Prostorna analiza

Analiza svih prikupljenih podataka obavljena je prema naseljima i općinama/gradovima. Od ukupno 556 općina u RH u 355 općina je obavljeno mjerenje dok u 201 općini nije. Nadalje, od 6756 naselja mjerenje je provedeno u 808 naselja što znači da 5948 naselja nije obuhvaćeno. Izraženo u postocima, 88% naselja te 64% općina nije obuhvaćeno mjerenjima.

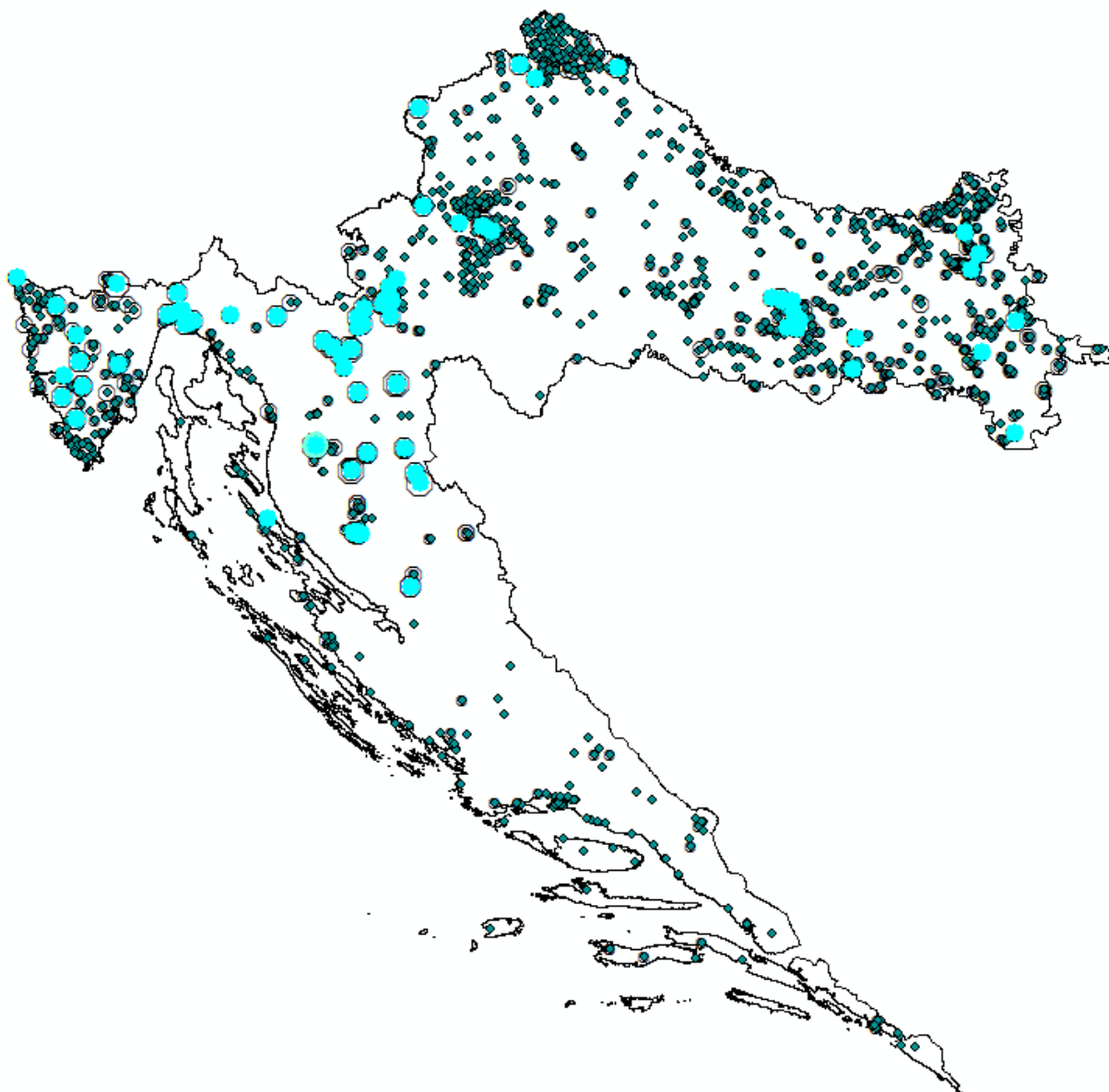
Prema statistikama mjerenja radona dobiveni su podaci prikazani na slici 5-9. Na području Republike Hrvatske postavljeno je 1913 detektora za mjerenje koncentracije radona u zraku od čega najniža izmjerena koncentracija iznosi 4 Bq/m<sup>3</sup> dok najviša izmjerena koncentracija iznosi 1705 Bq/m<sup>3</sup>. Iz dobivenih podataka također se može uočiti da je u RH prosječna koncentracija aktivnosti radona u kućama 94 Bq/m<sup>3</sup> a standardna devijacija 132 Bq/m<sup>3</sup>.



Slika 5-9. Statistički prikaz mjerenja radona u RH

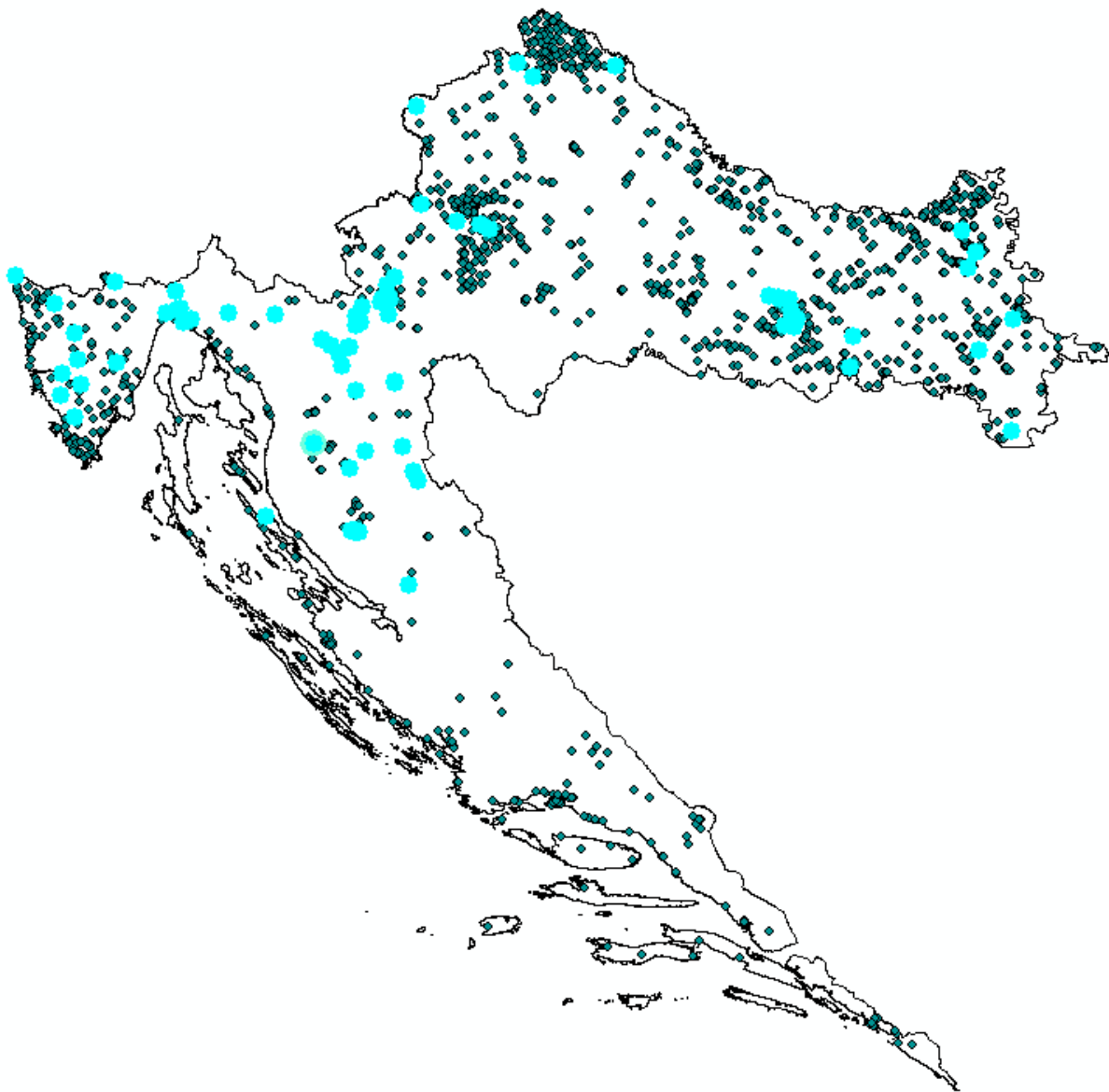
Nadalje, od postavljenih 1913 detektora po RH, 1737 detektora je izmjerilo vrijednosti koncentracije radona u zraku manje od 200 Bq/m<sup>3</sup> što iznosi 90,8%, dok je tek 61 detektor izmjerio vrijednosti koncentracije radona u zraku iznad 400 Bq/m<sup>3</sup> što iznosi 3,2%. Vrijednosti 200 Bq/m<sup>3</sup> i 400 Bq/m<sup>3</sup> je propisala komisija Europske Unije (EU) godine 1990. Odlukom 90/143/Euratom preporučena srednja godišnja koncentracija radona u kućama ne bi trebala premašiti vrijednost od 400 Bq/m<sup>3</sup> za starogradnju i 200 Bq/m<sup>3</sup> za novogradnju.

Međutim, prema novoj direktivi Europske unije iz 2013. godine (2013/59/Euratom) propisana referentna vrijednost koncentracije radona u kućama, pa tako i na radnim mjestima iznosi 300 Bq/m<sup>3</sup>. Broj izmjerenih vrijednosti koje su iznad propisane referentne vrijednosti iznosi 87 (od ukupno 1913) što znači da 4,5% izmjerenih vrijednosti premašuje vrijednost od 300 Bq/m<sup>3</sup> (slika 5-10).



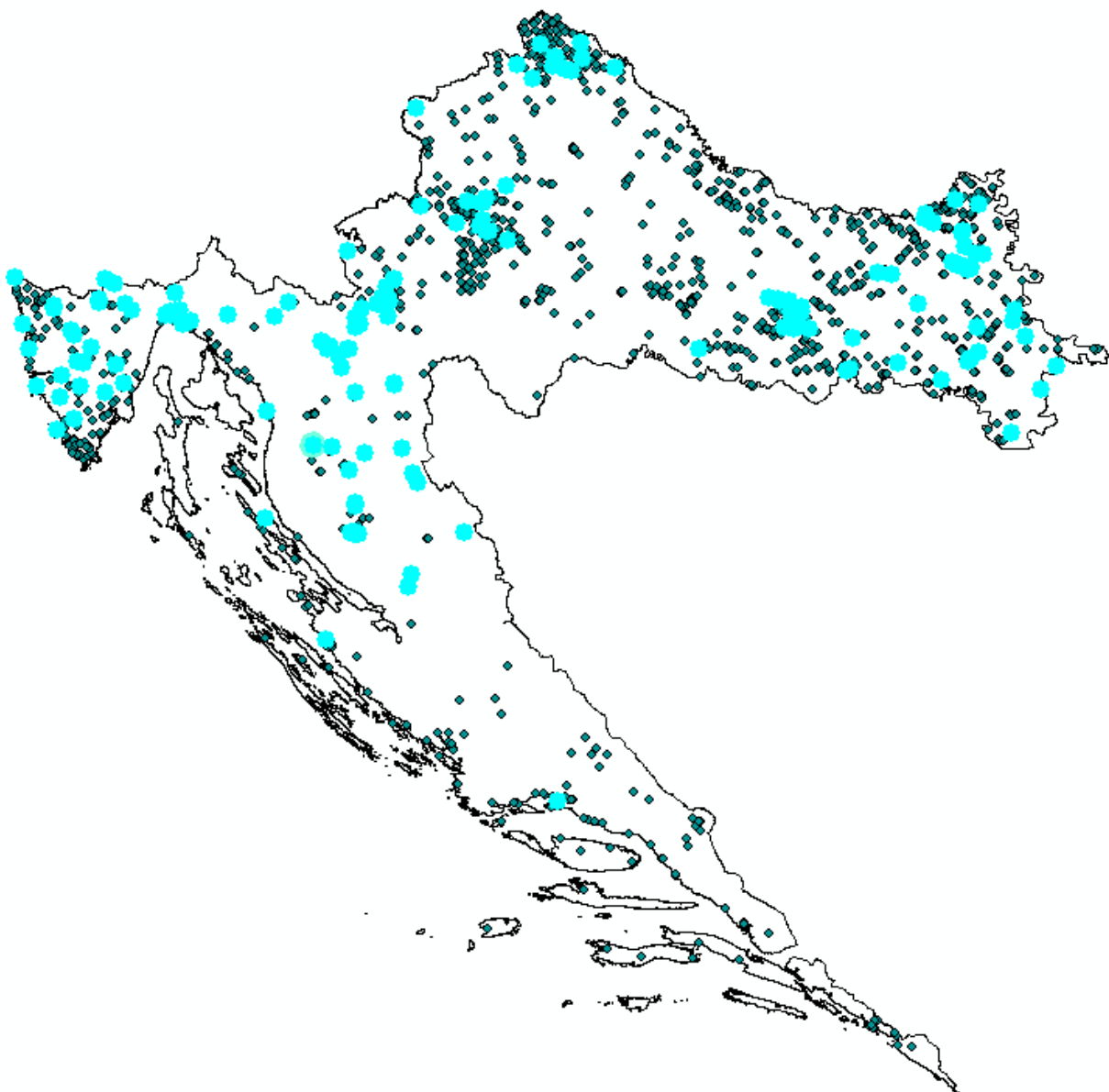
Slika 5-10. Prikaz izmjerenih vrijednosti koje su iznad  $300 \text{ Bq/m}^3$

Što se tiče naselja, 67 naselja ima mjerenja veća od referentne vrijednosti ( $300 \text{ Bq/m}^3$ ) što u postotcima iznosi 8,3% (slika 5-11).

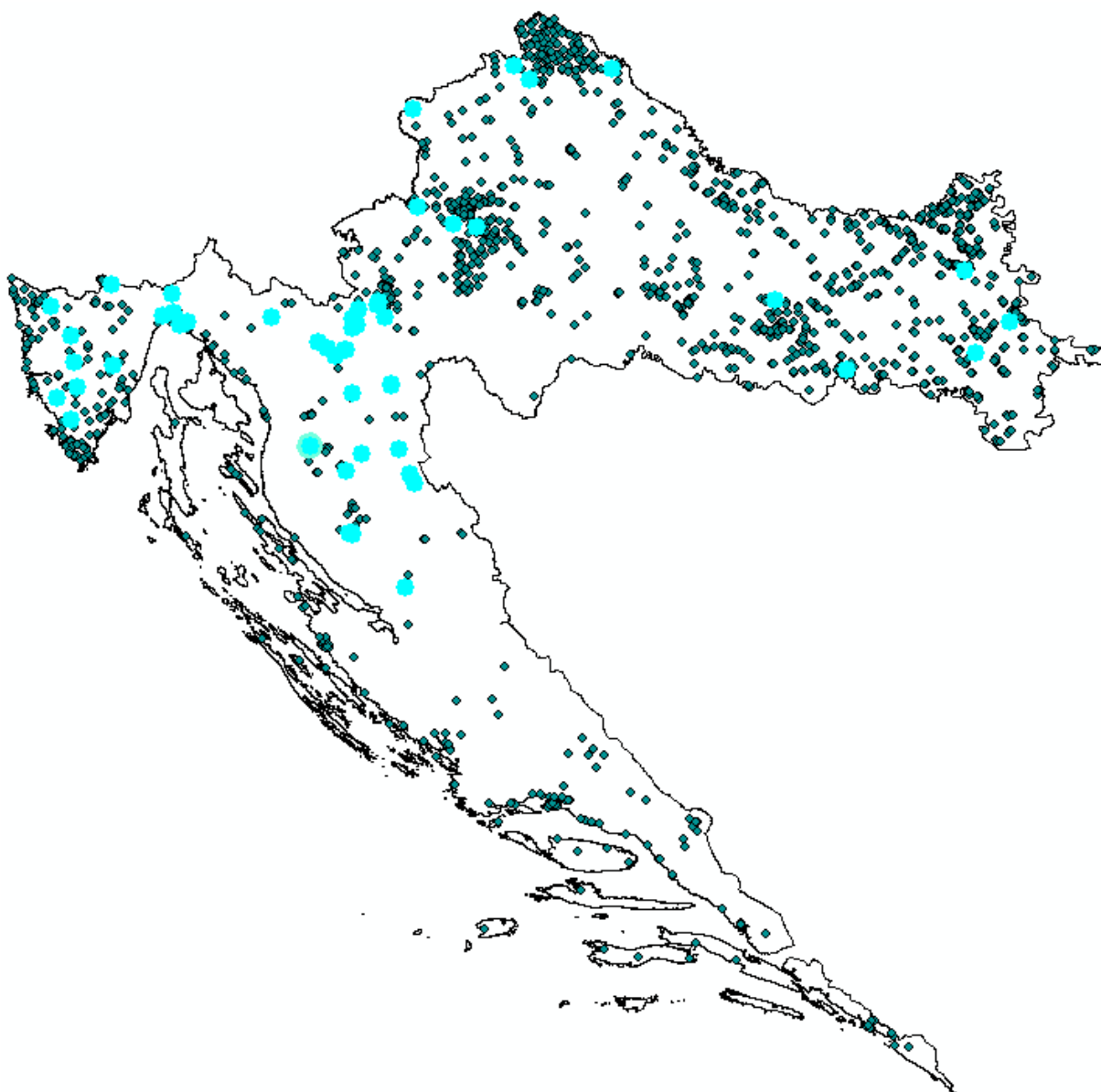


Slika 5-11. Prikaz naselja s izmjerenom vrijednošću većom od 300 Bq/m<sup>3</sup>

131 naselje ima izmjerenu koncentraciju veću od 200 Bq/m<sup>3</sup> (slika 5-12) a 48 naselja ima mjerenja veća od 400 Bq/m<sup>3</sup> (slika 5-13).



Slika 5-12. Prikaz naselja sa izmjerenom vrijednošću većom od 200 Bq/m<sup>3</sup>



Slika 5-13. Prikaz naselja sa izmjerenom vrijednošću većom od 400 Bq/m<sup>3</sup>

## 5.5. Interpolacija prostornih podataka

Danas, bez obzira na jako brz razvoj tehnologije, većina prikupljenih (izmjerenih) podataka su točkasti uzorci. Dakle, imaju točnu vrijednost odabrane varijable samo na izmjerenim x, y koordinatama. Da bi se dobile kontinuirane površine koje su neophodne za proučavanje, a time i poznavanje prostora u kojem živimo, potrebno je procijeniti vrijednosti na neuzorkovanim područjima koristeći pritom različite interpolacijske metode.

Interpolacija je proces procijene vrijednosti neuzorkovanih područja, na temelju skupa izmjerenih (promatranih) vrijednosti na poznatim koordinatama, a sve u svrhu dobivanja kontinuirane površine s nizom vrijednosti. Ona je jedan od ključnih sastavnica obrade i analize podataka u GIS sustavu. Korištena vrsta interpolacije u ovom diplomskom radu je *Inverse Distance Weighted* odnosno IDW interpolacija (Šiljeg i dr., 2013).

*Inverse Distance Weighted* metoda procjenjuje vrijednosti ćelije usrednjavanjem vrijednosti točaka uzorkovanja u blizini svake pojedine ćelije. Što se točka nalazi bliže centru ćelije, to će njen utjecaj biti veći u procesu usrednjavanja. Ova metoda pretpostavlja da varijabla koja je unijeta u kartu (kartirana) ima sve manji utjecaj na proces, što joj se udaljenost od lokacije uzorkovanja povećava (Bumbak, 2015).

Značajke interpolirane površine također mogu biti kontrolirane korištenjem fiksnog ili varijabilnog radijusa pretrage, koji ograničava broj ulaznih točaka koje se mogu koristiti za računanje svake interpolirane ćelije (Bumbak, 2015).

Fiksni radijus traženja zahtijeva udaljenost i minimalan broj točaka. Udaljenost određuje veličinu korištenog radijusa. Veličina radijusa je konstantna, tako je za svaku pojedinu ćeliju, radijus kruga koji se koristi za pronalazak ulazne točke jednak. Minimalan broj točaka ukazuje na minimalan broj mjernih točaka koje će se koristiti. Sve mjerne točke koje se nalaze unutar radijusa koriste se za izračun svake interpolirane ćelije. Kada je broj točaka u blizini manji od zadanog minimuma, radijus traženja se povećava dok ne obuhvati minimalan broj zadanih točaka. Fiksni radijus koristi se za svaku interpoliranu ćeliju. Shodno tome, ako mjerene točke nisu raspršene podjednako, što je rijetkost, vjerojatnije je da će broj mjerenih točaka biti različit za različita predviđanja (Bumbak, 2015).

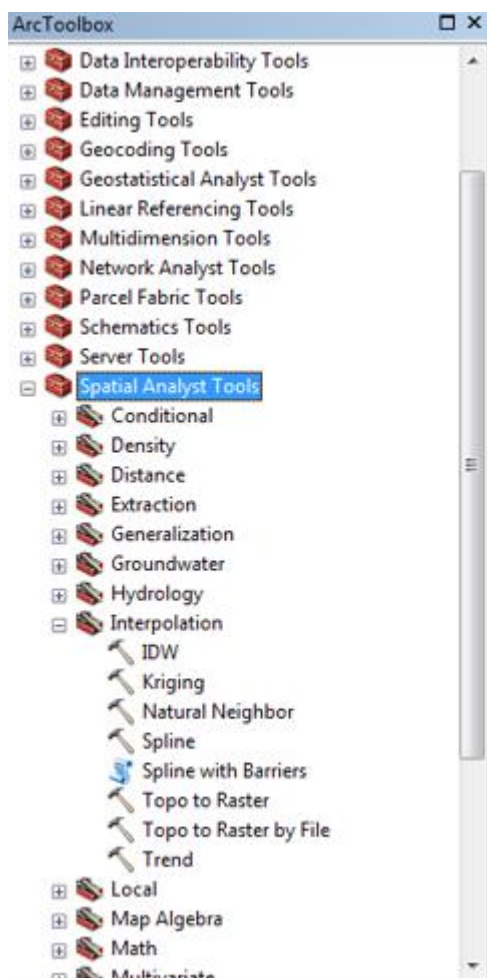
S varijabilnim radijusom traženja, broj točaka korištenih za računanje vrijednosti interpolirane ćelije je zadan, što znači da će radijus varirati za svaku interpoliranu ćeliju, ovisno o tome koliko daleko će morati tražiti oko interpolirane ćelije kako bi dosegao zadani broj točaka. Također se može odrediti maksimalna udaljenost, koju radijus traženja ne smije premašiti. Ako radijus za pojedino susjedstvo dosegne maksimalnu udaljenost prije nego zahvati određeni broj točaka, predviđanje za lokaciju bit će izvedeno s onoliko mjernih točaka koliko ih je unutar maksimalne udaljenosti (Bumbak, 2015).

## **5.6. Izrada konturnih karata**

### IDW interpolacija

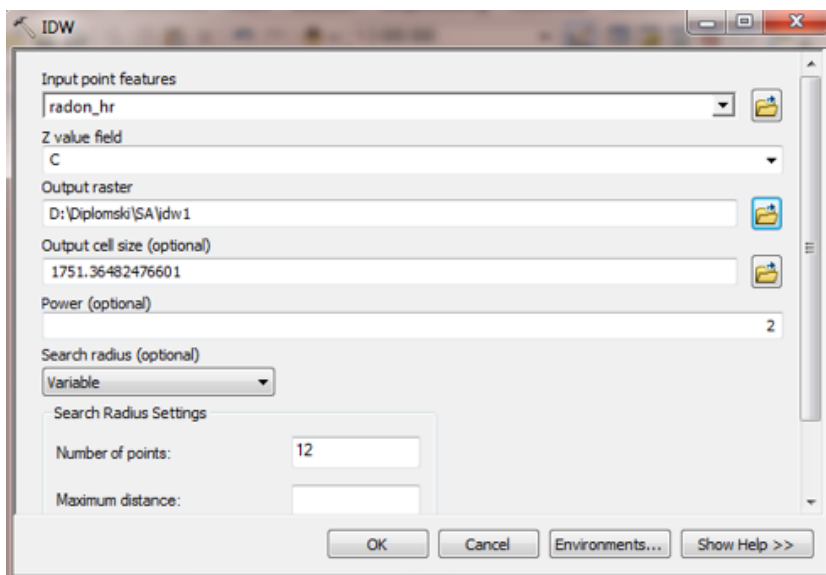
Za slikoviti prikaz rasporeda koncentracije radona u RH, izrađena je karta. Za početak, potrebno je u ArcToolbox-u odabrati naredbu Spatial Analyst Tools gdje se otvora niz novih naredbi. U naredbi Interpolation odabire se Interpolacija IDW (Inverse Distance Weighted) kao što je prikazano na slici 5-14.





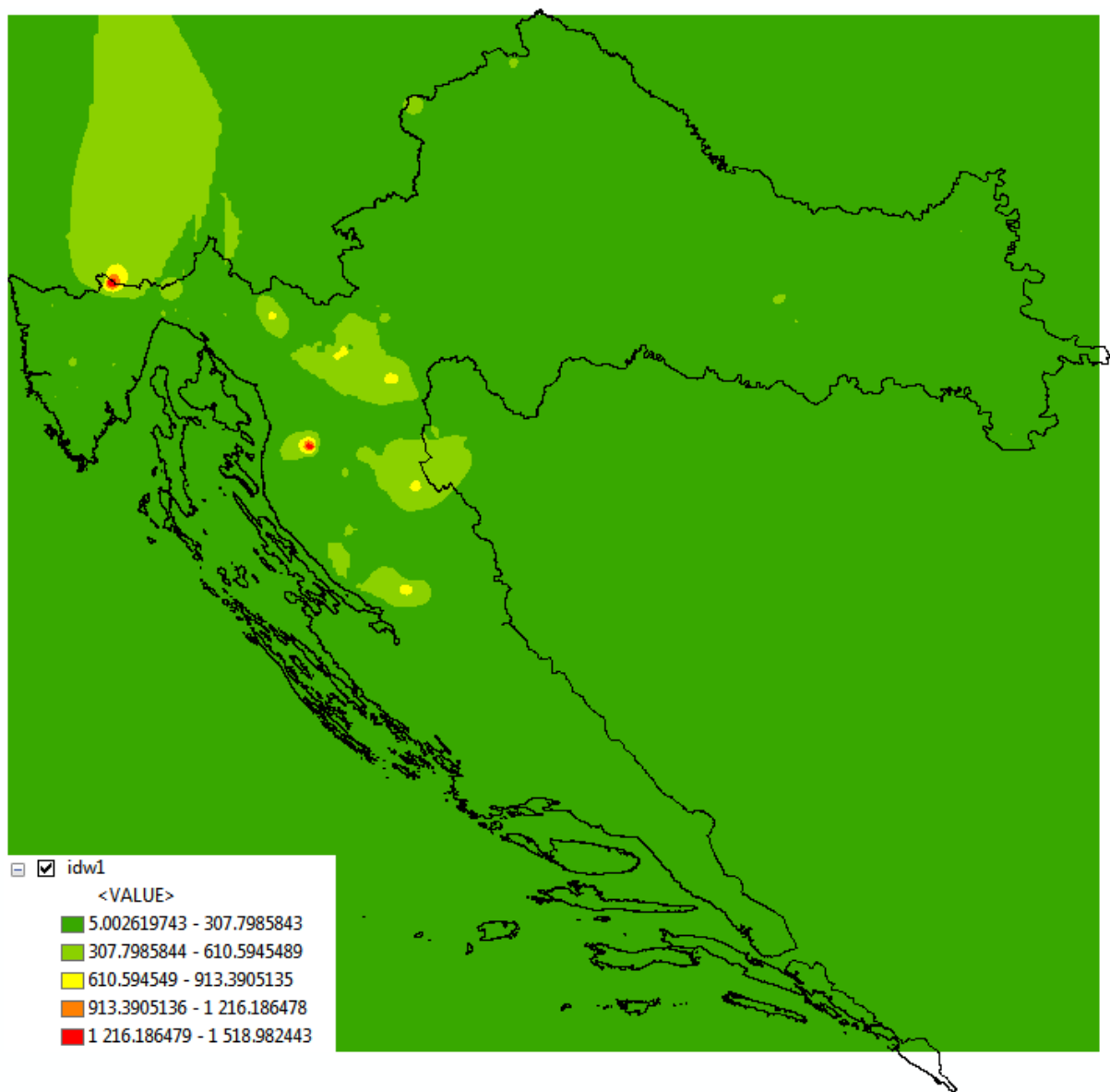
Slika 5-14. Dijaloški okvir ArcTolbox

Odabirom funkcije IDW, otvara se novi prozor (slika 5-15) u kojem se prilagođavaju sve potrebne postavke.



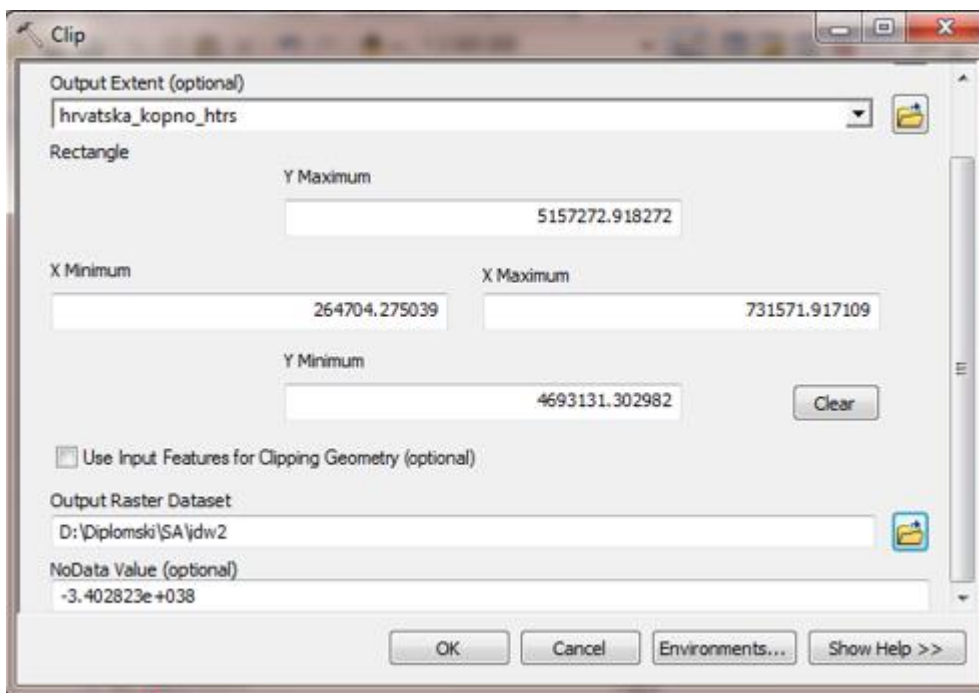
Slika 5-15. Dijaloški okvir IDW interpolacija

Nakon prihvaćanja svih postavki, softver sam odredi granice zona koncentracije radona te izradi konturnu kartu (slika 5-16).



Slika 5-16. Karta zona koncentracije radona RH

Kako ovakav oblik karte nije zadovoljavajući potrebno je “odrezati višak”, odnosno ukloniti sve što je izvan granica RH. Za taj postupak, korištena je naredba Clip (Data Management) (slika 5-17).



Slika 5-17. Dijaloški okvir Clip

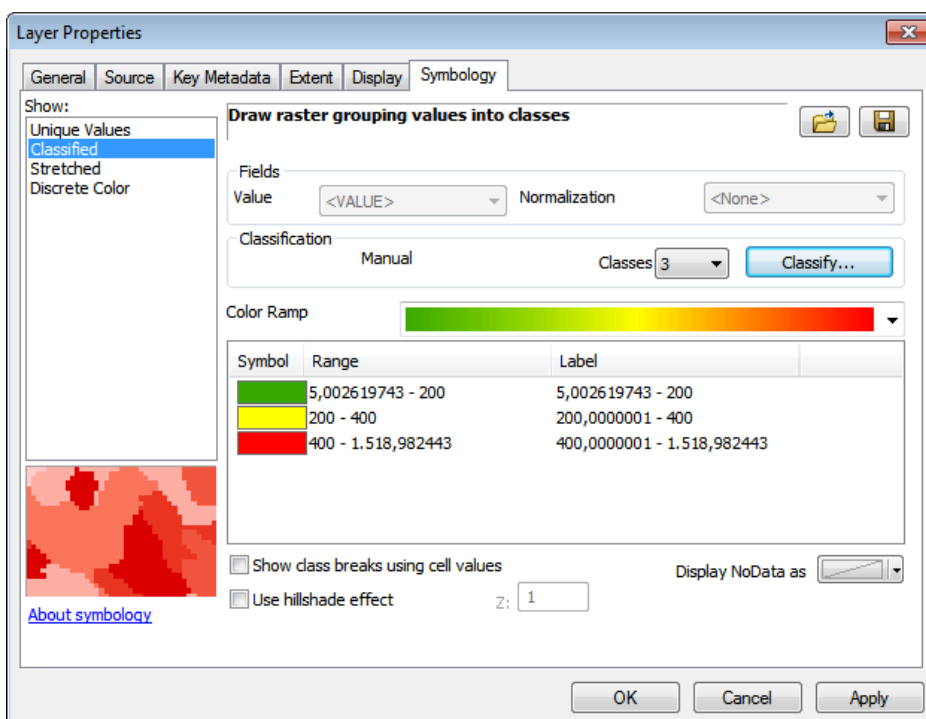
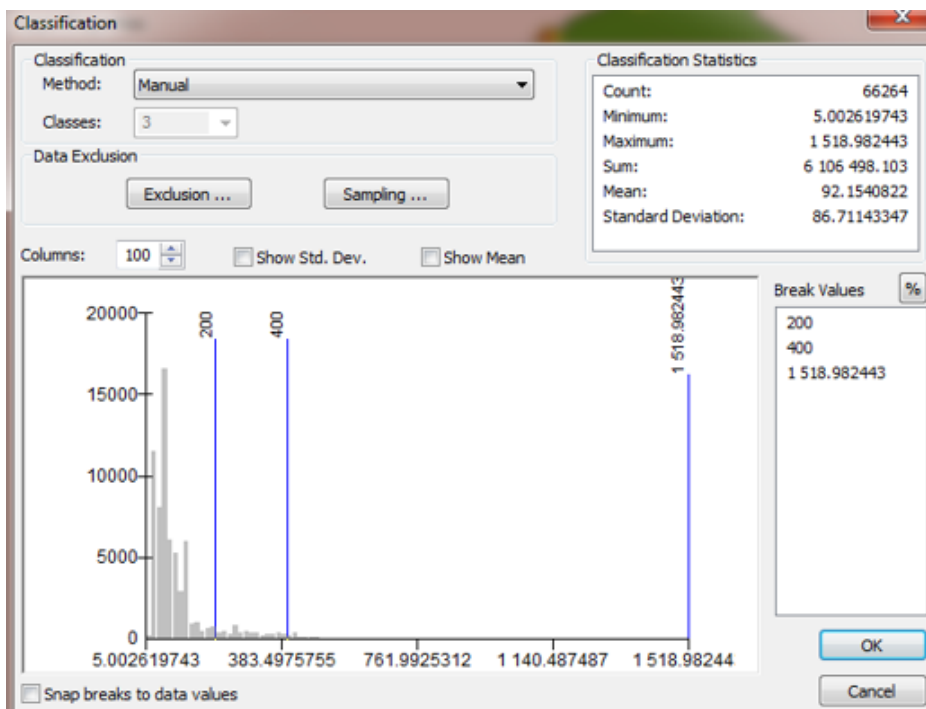
U ovoj naredbi potrebno je odrediti granice izvan kojih će se izrezati višak. U ovom slučaju, to je bila granica RH koja postoji kao poligonski sloj u projektu. Također je bitno napomenuti da je potrebno uključiti naredbu “Use Input Features for Clipping Geometry (optional)”.

Nakon izvršenja naredbe dobiva se nova karta (slika 5-18).



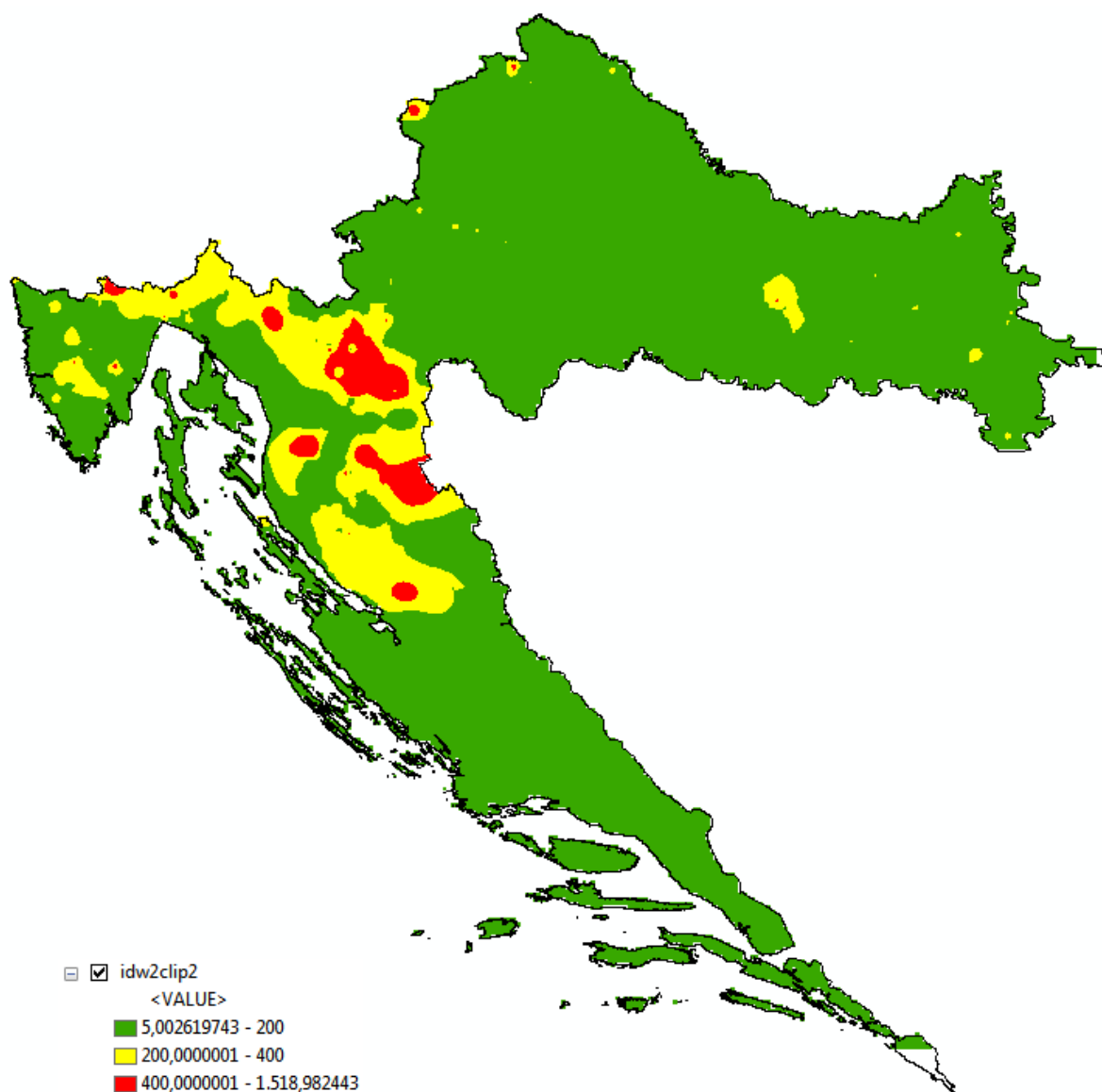
Slika 5-18. Karta zona koncentracije radona RH nakon naredbe Clip

Iako je karta unutar potrebnih državnih granica, potrebno je promijeniti i zone granica koncentracije, obzirom na propisane srednje godišnje koncentracije radona u kućama direktivom EU 90/143/Euratom iz 1990 god. Odgovarajuće granice iznose 200, 400 i maksimalna izmjerena (odnosno interpolacijom dobivena) vrijednost (slika 5-19).



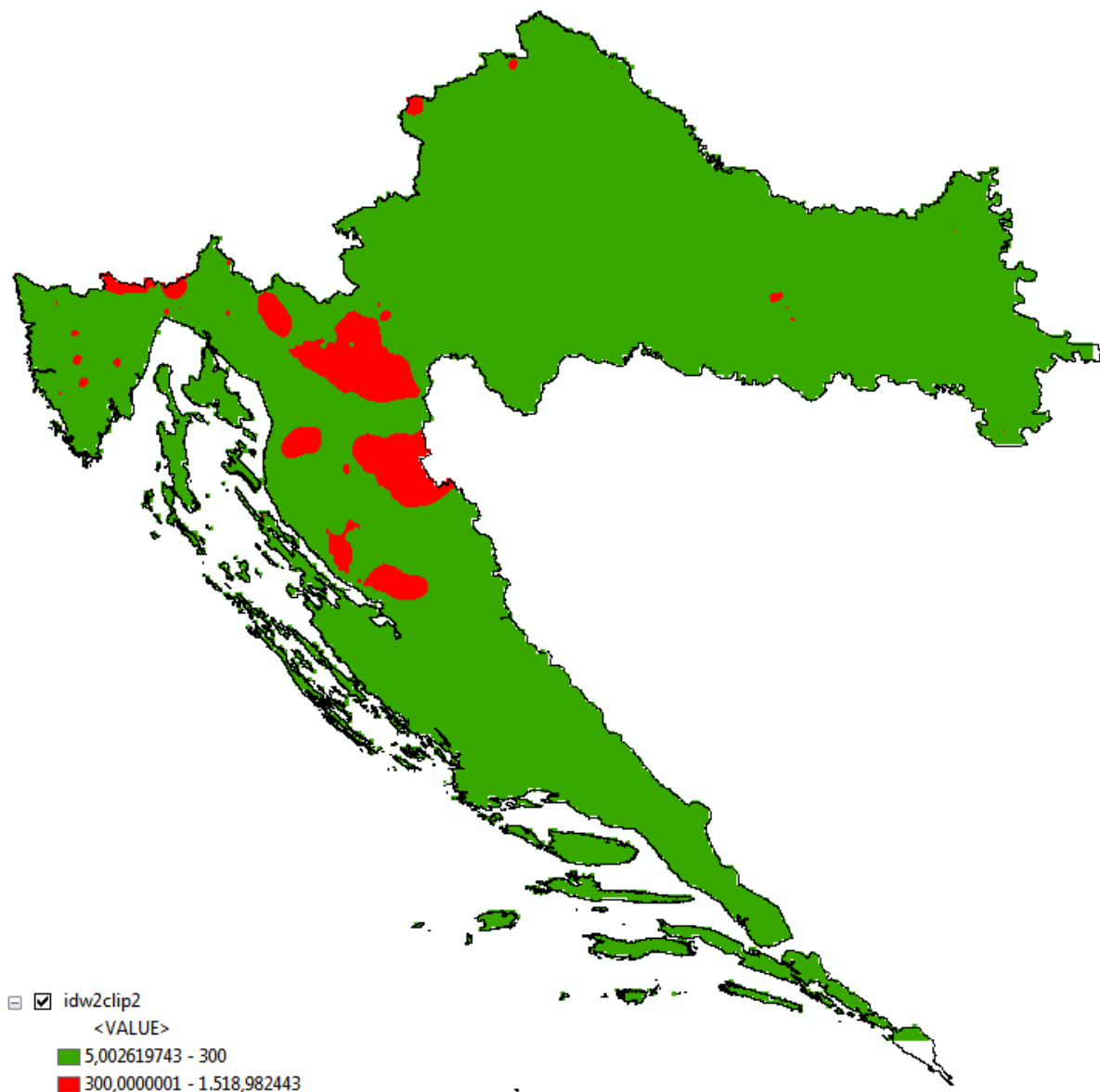
Slika 5-19. Prikaz odabira željenih granica

Nakon ovako postavljenih granica dobiva se pregledna karta (slika 5-20) na kojoj se lako mogu uočiti kritična područja u RH.



Slika 5-20. Pregledni prikaz karte zona koncentracije radona u RH

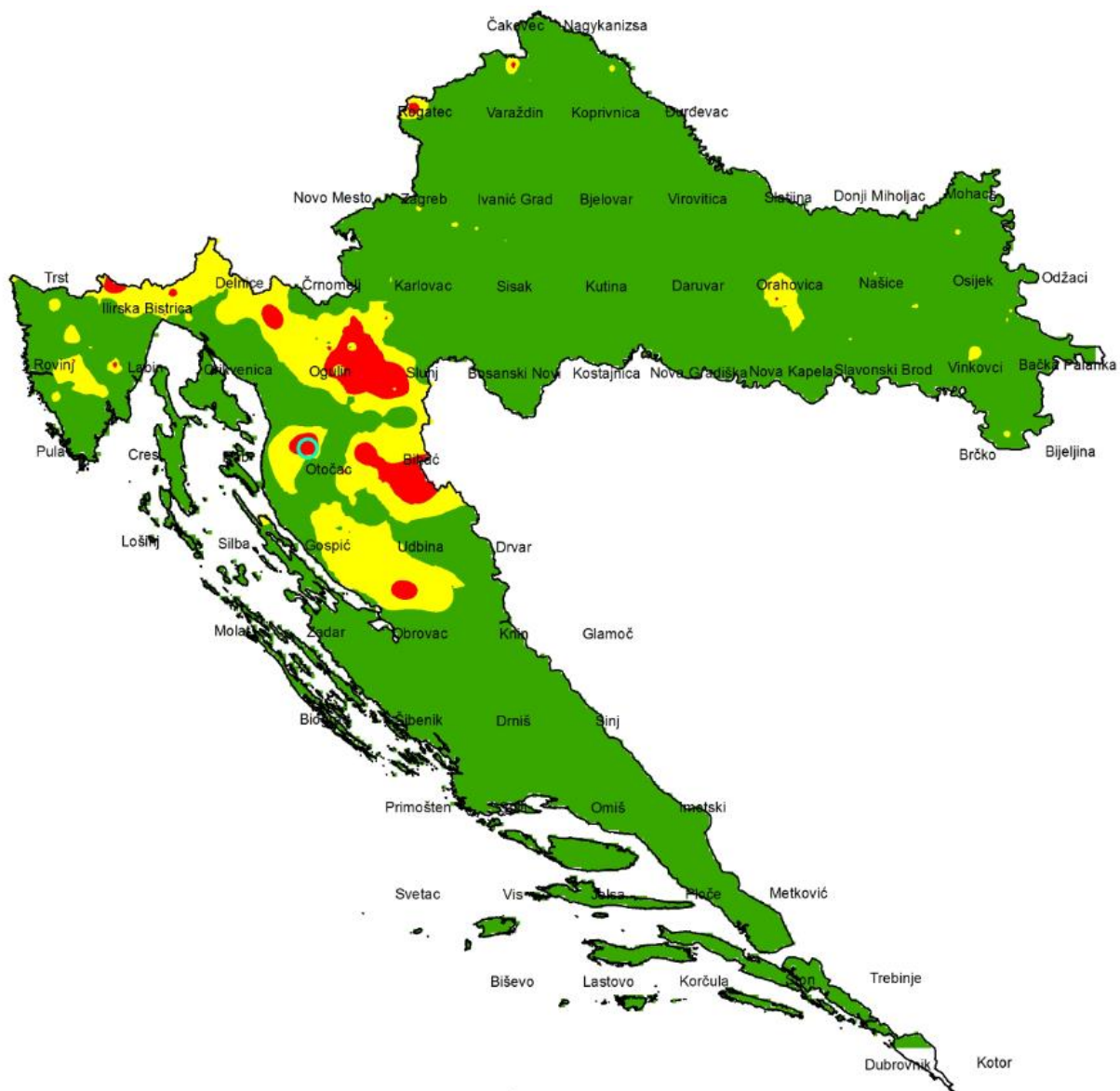
Ovako dobivena karta s posatvljenim granicama 200, 400 i izmjereni maksimum odgovara zadanim vrijednostima stare direktive Europske Unije (EU) 90/143/Euratom iz 1990. Međutim, Direktiva EU iz 2013. godine propisuje novu referentnu vrijednost koja ne smije premašiti iznos od 300 Bq/m<sup>3</sup>. Stoga je potrebno izraditi kartu koja jasno prikazuje područja koja se nalaze u kritičnoj zoni (slika 5-21).



Slika 5-21. Prikaz karte zona koncentracije u RH (Direktiva EU iz 2013.)

Preklapanjem ovako dobivene karte sa slojem naselja i slojem svih postavljenih detektora u RH, jasno se može očitati koja se područja u RH nalaze u kritičnoj zoni koncentracije radona (slika 5-22).





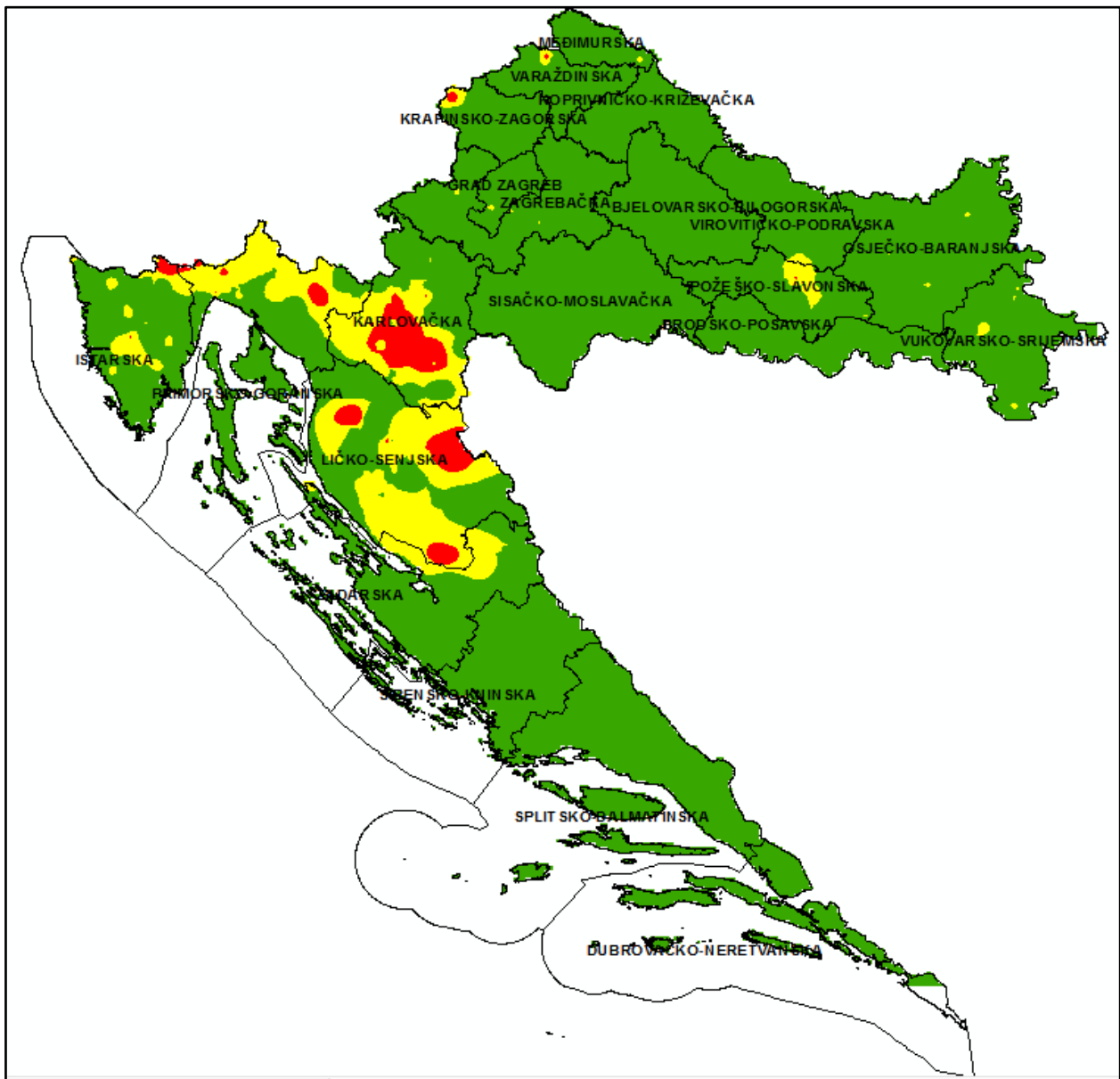
Slika 5-22. Slikoviti prikaz područja koja se nalaze u kritičnoj zoni koncentracije radona

Dakle, iz karte je dobiven popis područja koja su u kritičnoj zoni odnosno popis svih gradova te njima pripadajućih općina u kritičnoj zoni (tablica 5-1.):

Tablica 5-1. Popis područja u kritičnoj zoni

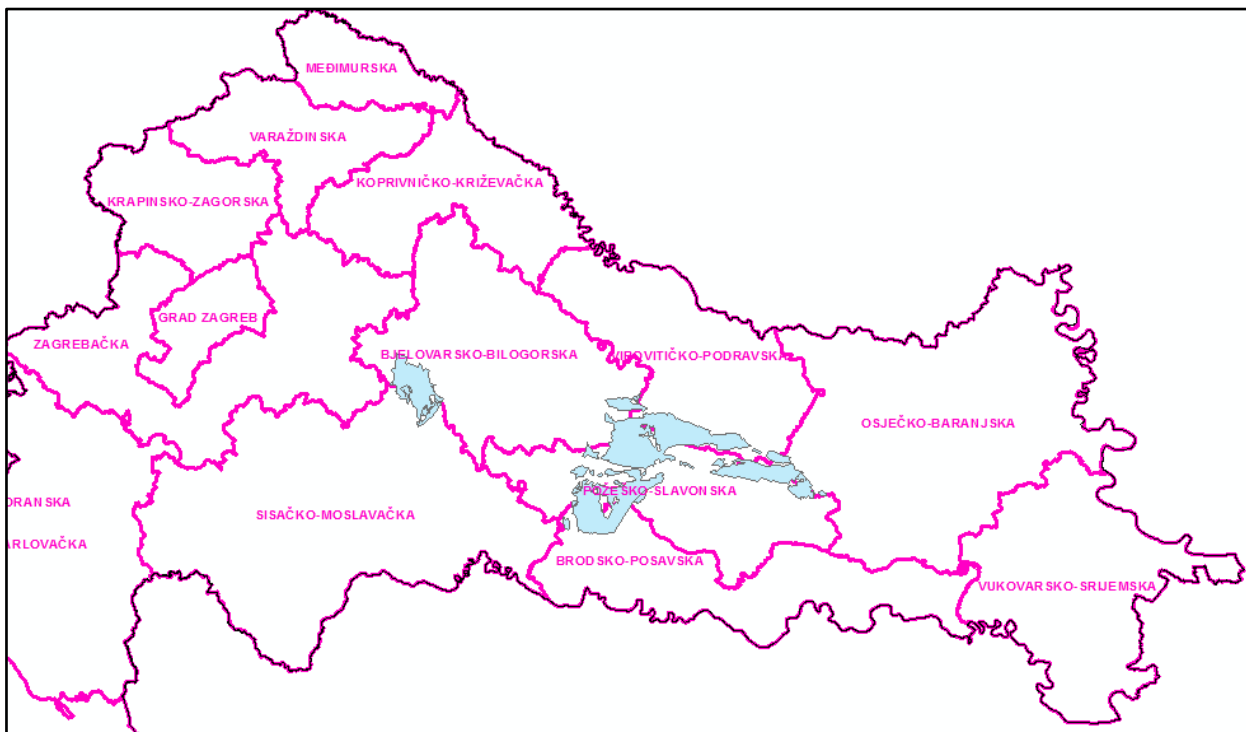
GRADOVI	OPĆINE
Bihać	Plitvička jezera
	Udbina
	Vrhovine
Crikvenica	Mrkopalj
Čakovec	Petrijanec
Črnomelj	Generalski stol
Delnice	Delnice
	Ravna gora
	Skrad
Ilirska bistrica	Klana
	Lanišće
Labin	Pićan
	Sv. Nedjelja
Obrovac	Lovinac
Ogulin	Barilović
	Generalski stol
	Josipdol
	Plaški
	Ogulin
	Slunj
	Tounj
Orahovica	Velika
Otočac	Otočac
	Senj
	Vrhovine
Rogatec	Desinić
	Hum na Sutli
	Pregrada
Rovinj	Sv. Petra u šumi
Slunj	Cetingrad
	Slunj
Udbina	Lovinac
	Udbina

Većina navedenih naselja se nalazi u Primorsko-goranskoj, Karlovačkoj, Ličko-senjskoj te Zadarskoj županiji (slika 5-23.). Dakle, unutrašnjost RH te područje Dalmacije je nešto sigurnije ali zbog manjeg broja mjerenja u unutrašnjosti RH ne možemo reći da je to područje sigurno.



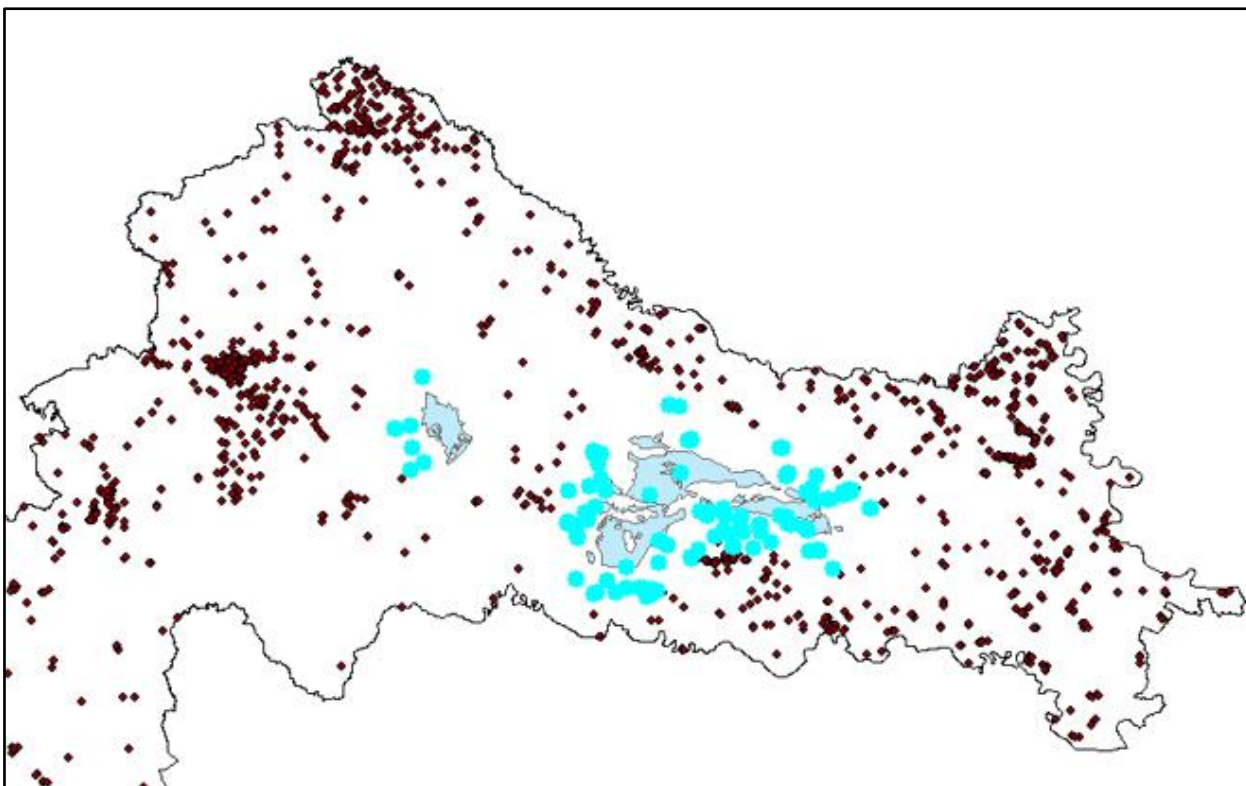
Slika 5-23. Prikaz županija u kojima se nalaze naselja u kritičnoj zoni

Kako pojava radona ovisi o količini uranija u stijenama i tlu, vrlo zanimljivo područje je ono oko pojave granita i gnajseva, kao stijena na površini u RH. Te površine su vektorizirane s listova OGK SFRJ 1:100000. Graniti i gnajsevi u RH rašireni su po području Bjelovarsko-bilogorske, Požeško-slavonske, Brodsko-posavske, Virovitičko-podravске, Osječko-baranjske i Sisačko-moslavačke županije (slika 5-24).



Slika 5-24. Prikaz područja u kojem se pojavljuju gnajsevi i graniti

Stoga je oko tog područja izrađena karta koja prikazuje broj izmjerenih koncentracija, a dobiveni rezultati prikazani su na slici 5-25.



Slika 5-25. Broj izmjerenih vrijednosti koncentracija radona na području od 10 km oko gnajseva i granita

Na području širine od 10 km oko područja gnajseva i granita sveukupno ima 129 izmjerenih koncentracija. Najviša izmjerena vrijednost iznosi 887 Bq/m<sup>3</sup>.

Nadalje, potrebno je bilo napraviti analizu pojave radona na područjima različitih zemljišnih pokrova. Prema podjeli code\_lev3 (koja se može vidjeti i na slici 5-6 u poglavlju 5.2. Tematsko modeliranje), odnosno:

1. umjetne površine (100)
2. poljoprivredna područja (200)
3. šume i poluprirodna područja (300)
4. vlažna područja (400)
5. vodene površine (500)

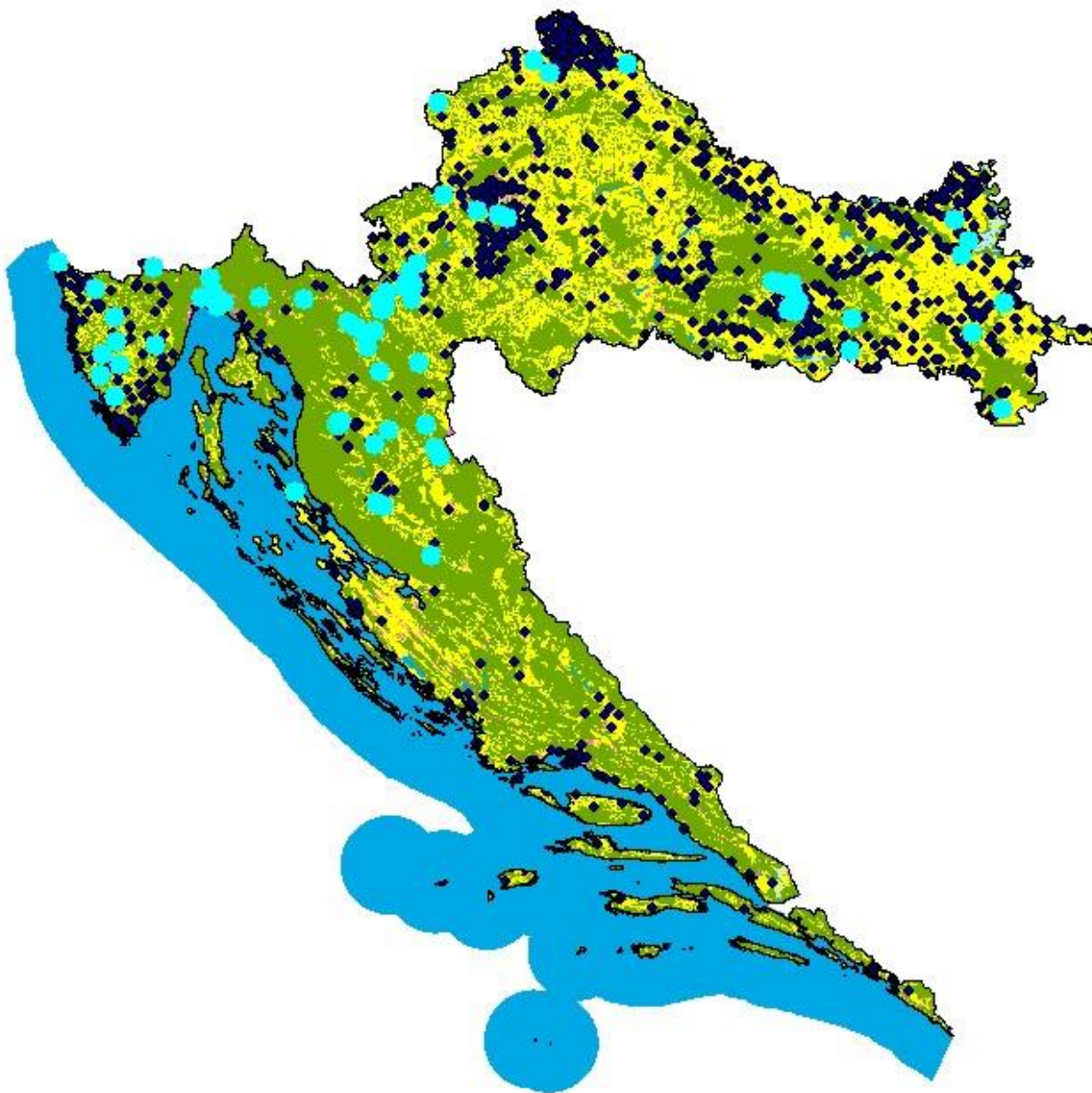
dobivena je odgovarajuća tablica 5-2 iz koje se vidi sljedeće:

Tablica 5-2. Prikaz mjerenja na različitim zemljišnim pokrovima

	OID	CODE_LEV3	Count_CODE_LEV3	Average_C
►	0	0	4	66,25
	1	100	1071	86,9741
	2	200	690	104,7776
	3	300	134	104,2339
	4	400	2	24
	5	500	12	41,8985

Na području umjetnih površina (100) izmjereno je sveukupno 1071 vrijednost dok prosječna izmjerena vrijednost iznosi 87 Bq/m<sup>3</sup>. Poljoprivredna područja (200) imaju sveukupno 690 izmjerenih vrijednosti te prosječna vrijednost iznosi 105 Bq/m<sup>3</sup>. Šume i poluprirodna područja (300) imaju 134 izmjerene vrijednosti s prosječnom vrijednosti 104 Bq/m<sup>3</sup>. Vlažna područja (400) imaju svega 2 mjerenja i prosječna vrijednost im je 24 Bq/m<sup>3</sup>. Na kraju, vodene površine (500) imaju 12 izmjerenih vrijednosti s prosječnom vrijednošću od 42 Bq/m<sup>3</sup>.

Od svih izmjerenih vrijednosti najbitnija su ona koja prelaze vrijednost 300 Bq/m<sup>3</sup>. Zbog toga je izrađena karta na kojoj se lako može vidjeti gdje se ta mjerenja točno nalaze (slika 5-26). Takvih vrijednosti ima sveukupno 87.

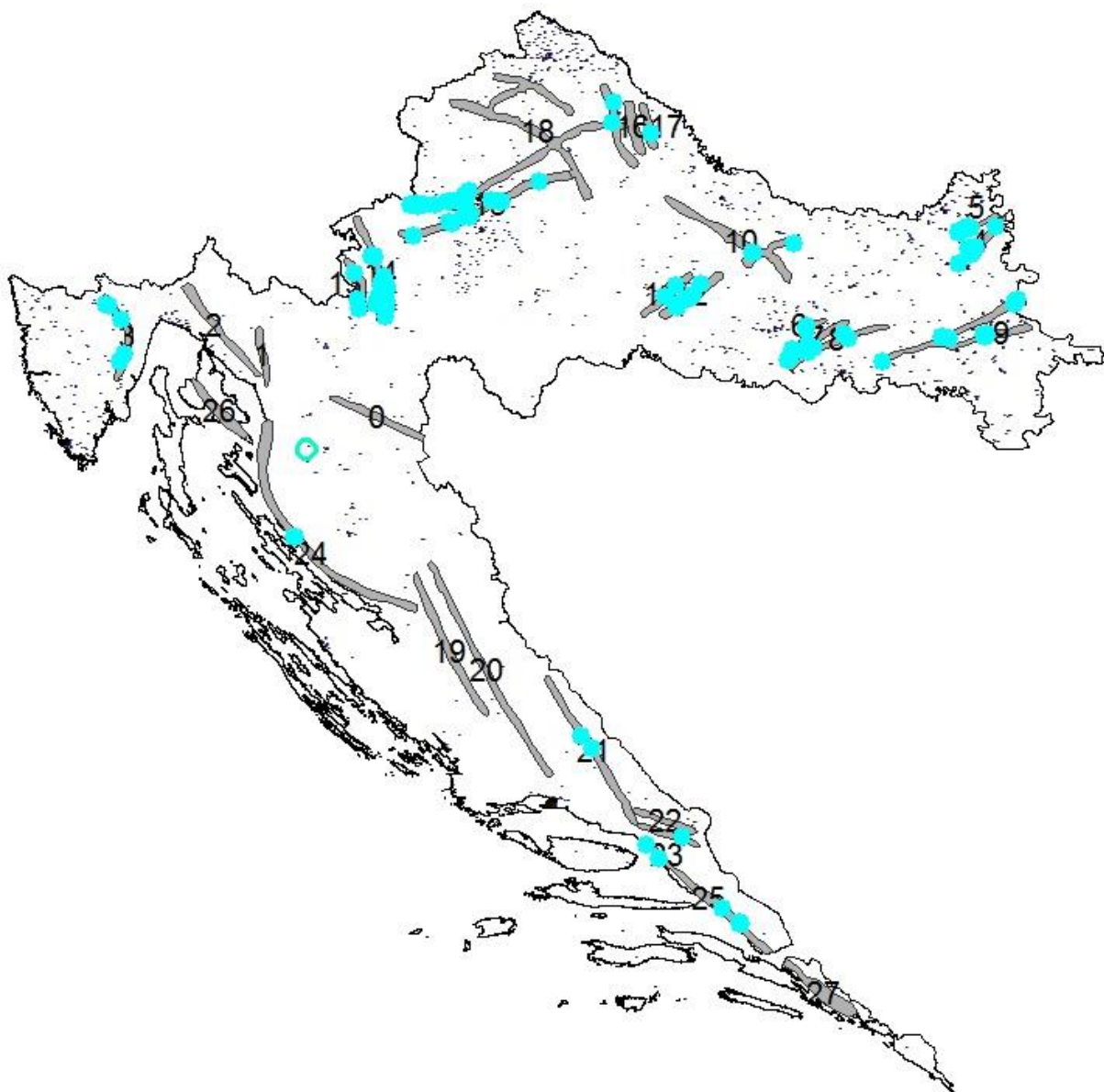


Slika 5-26. Prikaz izmjerenih vrijednosti koje prelaze granicu od  $300 \text{ Bq/m}^3$

Pojava radona često se povezuje s pojavom potresa. Postoje mnoga istraživanja kojima se želi postići metoda kojom bi se mjerenjem koncentracije radona mogla predvidjeti pojava potresa. Samim time, poznavajući činjenicu da se radon često pojavljuje na mjestima gdje ima više potresa (Planinić et al., 2000), potrebno je bilo izraditi kartu kojom se prikazuju mjerenja koja se nalaze na potresnim područjima (slika 5-27). Dakle, sloj potresa korišten je za određivanje lokacija za koje postoji mogućnost uzročno-posljedične veze pojavljivanja radona i potresa.



Karta je napravljena na način da su, od svih obavljenih mjerenja u RH, izdvojena ona mjerenja koja se nalaze u neposrednoj blizini potresnog područja (Leopold, 2015).



Slika 5-27. Prikaz mjerenja koja se nalaze na potresnim područjima

Na karti se lako može vidjeti na kojem području se nalaze potresna područja te koliko mjerenja ima u blizini. Kako bi se mogla očitati i izmjerena vrijednost prikazana je tablica 5-3.



Tablica 5-3. Prikaz izmjerenih vrijednosti u blizini potresnih područja

	OID	FID_2	Count_FID_2	Average_C
▶	0	3	5	81,5815
	1	4	13	97,9231
	2	5	6	116,1667
	3	6	2	149,5
	4	7	5	50,4
	5	8	6	122,3333
	6	9	13	74,3077
	7	10	10	52,9
	8	11	2	25,5
	9	12	8	41,75
	10	13	3	66,6911
	11	14	29	147,9028
	12	15	22	45
	13	17	1	57
	14	18	19	74,0526
	15	21	2	41,5
	16	23	2	43,5
	17	24	2	115,3689
	18	25	8	31,25

## 6. ZAKLJUČAK

Na području Republike Hrvatske postavljeno je 1913 detektora. Najniža izmjerena vrijednost koncentracije radona u zraku iznosi  $4 \text{ Bq/m}^3$ , dok najviša izmjerena vrijednost iznosi  $1705 \text{ Bq/m}^3$ . Prosječna koncentracija aktivnosti radona u kućama iznosi  $94 \text{ Bq/m}^3$ . Prema novoj direktivi Europske unije iz 2013. godine (2013/59/Euratom) propisana referentna vrijednost koncentracije radona u kućama, pa tako i na radnim mjestima iznosi  $300 \text{ Bq/m}^3$ . Takvih vrijednosti, koje premašuju propisanu referentnu vrijednost, ima sveukupno 87. U postotcima to iznosi 4,5%, što i nije tako mala brojka. Nadalje, postavljeni detektori su neravnomjerno postavljeni po području RH. Prema statistici, od ukupno 556 općina u RH u 355 općina je obavljeno mjerenje dok u 201 općini nije. Što se tiče naselja, od 6756 naselja mjerenje je provedeno u 808 naselja što znači da 5948 naselja nije obuhvaćeno. Izraženo u postocima, 88% naselja te 64% općina nije obuhvaćeno mjerenjima. Iz ovih podataka možemo zaključiti da ovakvu mrežu detektora treba progustiti. Također, prema ovim podacima ne dobije se prava slika kritičnih područja u RH jer na puno područja mjerenja uopće nisu obavljena. Republikom Hrvatskom prostiru se zone potresnih područja koje se obično vežu uz pojavu radona. Stoga je obavljena analiza izmjerenih vrijednosti u tim područjima. Prosječna izmjerena vrijednost na području potresnih zona iznosi  $148 \text{ Bq/m}^3$ , što je niže od zadane referentne vrijednosti. Iz ovoga se može zaključiti da pojava potresa u RH-a ne predstavlja rizik povišenja koncentracije radona u zraku. Osim potresnih područja radon se također veže i uz područja pojave gnajseva i granita. U RH se gnajsevi i graniti javljaju u manjim količinama. U radijusu od 10 km oko tog područja postavljeno je svega 129 detektora. Najviša izmjerena vrijednost iznosi  $887 \text{ Bq/m}^3$ . Zbog ove vrijednosti može se reći da bi na tom području trebalo progustiti mrežu detektora te to područje malo pobliže istražiti.

## 7. LITERATURA

- BAJKOVEC, J., 2015. Radon u kućama u Međimurskoj županiji, Diplomski rad, Fakultet fizike i informatike, Sveučilište Josipa Jurja Strossmayera u Osijeku
- BARENT, I., NEZNAL, M., KLINGEL, L., 2004. Possible ways to Radon Map of Europe – from input data to result
- BUMBAK, L., 2015. Izrada karata prosječnih godišnjih koncentracija nitrata pomoću metoda interpolacije za priljevno područje „Mala Mlaka“, Diplomski rad, Zagreb: RGN fakultet
- CALX 2016. Izvještaj o pojavnosti ležišta mineralnih sirovina tehničko-građevnog kamena magmatskog i metamorfnog podrijetla na području Republike Hrvatske, Calx, elaborat
- DARBY S., HILL D., DEO H., AUVINEN A., BARROS-DIOS J. M. AND BAYSSON H. ET AL., Residential radon and lung cancer-detailed results of a collaborative analysis of individual data on 7148 persons with lung cancer and 14,208 persons without lung cancer from 13 epidemiologic studies in Europe, Scand J Work Environ Health 32 (suppl 1), pp. 1–84.
- FRANGEN, T., 2007. Izrada baze podataka o seizmotektonskoj aktivnosti u Hrvatskoj, Diplomski rad, Zagreb: RGN fakultet
- JURIŠIĆ, D. 2010. Mjerenje radona u Virovitičko – podravskoj županiji 2010., Diplomski rad, Odjel za fiziku, Sveučilište Josipa Jurja Strossmayera u Osijeku
- KUŠTRIN, 2009. Mjerenje radona u Brodsko-posavskoj županiji, Diplomski rad, Odjel za fiziku, Sveučilište Josipa Jurja Strossmayera u Osijeku
- LEOPOLD, R., 2015. Odabir lokacije odlagališta radioaktivnog otpada, Diplomski rad, Zagreb: RGN fakultet
- MAJEVIĆ, G., 2007. Radon glavni radioaktivni kontaminant čovjekove okoline, Diplomski rad, Prirodno matematički fakultet odjela za fiziku, Sveučilište u Novom Sadu
- NOVAKOVIĆ, A., 2015. Mjerenje radona u stambenoj zgradi, Završni rad, Odjel za fiziku, Sveučilište Josipa Jurja Strossmayera u Osijeku

PLANINIĆ J., RADOLIĆ V., ČULO D., 2000. Searching for an earthquake precursor: temporal variations of radon in soil and water, Fakultet fizike, Sveučilište u Osijeku

POLETO, Z., VARGA, M., RADOLIĆ, V., POJE, M., VUKOVIĆ, B. 2008. Radon u kućama Brodsko-posavske županije, Zbornik radova sedmog simpizija Hrvatskog društva za zaštitu od zračenja / Barešić, D.; Grahek, Ž.; Krajcar Bronić, I.; Miljanić, S. (ur.). - Zagreb : HDZZ , 2008. 289-293

RADOLIĆ, V., VUKOVIĆ, B., STANIĆ, D., KATIĆ, M., 2006. National survey of indoor radon levels in Croatia, Journal of radioanalytical and nuclear chemistry (0236-5731) 269 (2006), 1; 87-90

RADOLIĆ, V., NOVAKOVIĆ, L., JERKOVIĆ, G., VUKOVIĆ, B. 2008. Radon u kućama u Vukovarsko-srijemskoj županiji, Zbornik radova sedmog simpozija Hrvatskog društva za zaštitu od zračenja / Barešić, D.; Grahek, Ž.; Krajcar Bronić, I.; Miljanić, S. (ur.). - Zagreb : HDZZ , 2008. 282-288

RADOLIĆ, V.; MIKLAVČIĆ, I.; POJE, M.; STANIĆ, D.; VARGA PAJTLER, M.; VUKOVIĆ, B., 2011. Implementacija protokola za mjerenje radona u kućama u RH na primjeru Baranje, Zbornik radova VIII. simpozija Hrvatskog društva za zaštitu od zračenja / Krajcar Bronić, I.; Kopjar, N.; Milić, M.; Branica, G. (ur.) - Zagreb : Hrvatsko društvo za zaštitu od zračenja , 2011. 220-225

RADOLIĆ, V., MIKLAVČIĆ, I., STANIĆ, D., POJE, M., PETRINEC, B., MUŽEVIĆ, M., KRPAN, I., VUKOVIĆ, B. 2013. Radon u tlu i vodi Ličko-senjske županije, Zbornik radova Devetog simpozija Hrvatskog društva za zaštitu od zračenja / Knežević, Željka ; Majer, Marija ; Krajcar Bronić, Ines (ur.). - Zagreb : HDZZ , 2013. 205-210.

RADOLIĆ, V., MIKLAVČIĆ, I., STANIĆ, D., POJE, M., KRPAN, I., MUŽEVIĆ, M. PETRINEC, B., VUKOVIĆ, B., 2014. Identification and mapping of radon-prone areas in Croatia— preliminary results for Lika-Senj and the southern part of Karlovac Counties, Radiation protection dosimetry (0144-8420) **162** (2014), 1/2; 29-33

VARGA PAJTLER, M., JURIŠIĆ, D., MIKLAVČIĆ, I., POJE, M., RADOLIĆ, V., VUKOVIĆ, B., IVKOVIĆ, I. 2011. Radon u kućama Virovitičko-podravске županije, Zbornik

radova VIII. simpozija Hrvatskog društva za zaštitu od zračenja / Krajcar Bronić, I.; Kopjar, N.; Milić, M.; Branica, G. (ur.) - Zagreb : Hrvatsko društvo za zaštitu od zračenja , 2011. 214-219

### **Popis internetskih izvora**

AGENCIJA ZA ZAŠTITU OKOLIŠA, 2015. CORINE Land Cover Hrvatska (CLC Hrvatska). URL: <http://www.azo.hr/CORINELandCover> (14.05.2017)

DRŽAVNI ZAVOD ZA RADIOLOŠKU I NUKLEARNU SIGURNOST, 2014. O radonu <sup>222</sup>Rn. URL: <http://radon.dzrns.hr/o-radonu/> (15.03.2017)

PERKOVIĆ, D., 2010. Faze razvoja GIS-a. URL: <http://rudar.rgn.hr/~dperko/nidsdperkovic/predavanja/06 Faze razvoja GIS-a 01092010.pdf> (12.02.2017)

PORTAIL SANTE MIEUX – ETRE, 2015. Residential radon.

URL: <http://sante.gouv.qc.ca/en/conseils-et-prevention/radon-domiciliaire/> (11.01.2017)

RADIATION PROTECTION DOSIMETRY, 2017. From the European indoor radon map towards an atlas of natural radiation. URL: <https://academic.oup.com/rpd/article-lookup/doi/10.1093/rpd/ncu244> (21.05.2017)

ŠILJEG A., LOZIĆ S., ROLAND V., 2013. Usporedba metoda interpolacije u izradi digitalnog modela reljefa-Primjer PP Vransko jezero. URL: [http://www.kartografija.hr/tl\\_files/Savjetovanje\\_2013/Prezentacije/03\\_Siljeg.pdf](http://www.kartografija.hr/tl_files/Savjetovanje_2013/Prezentacije/03_Siljeg.pdf) (18.04.2017)